I Міжнародна науково-практична конференція

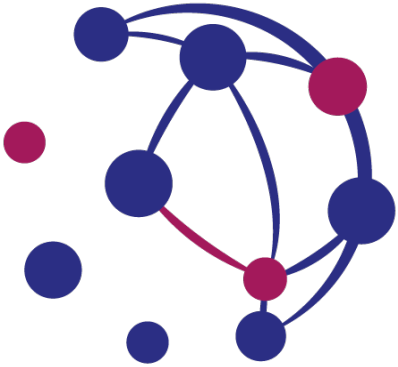
СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

22–23 травня, 2026 р.

Луцький національний технічний університет

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



MINTECH 2026

1st International Scientific and Practical Conference

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES: FROM THEORY TO PRACTICE

BOOK OF ABSTRACTS

22–23 May, 2026

Lutsk National Technical University

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УДК 004
С 91

Міністерство освіти і науки України	Ministry of Education and Science of Ukraine
Волинська обласна рада	Volyn Regional Council
Луцька міська рада	Lutsk City Council
Луцький національний технічний університет	Lutsk National Technical University (Ukraine)
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Ukraine)
Національний університет «Львівська політехніка»	Lviv Polytechnic National University (Ukraine)
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут (м. Київ)	Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology (Ukraine)
Рівненський державний гуманітарний університет	Rivne State University of the Humanities (Ukraine)
Державний торговельно-економічний університет (м. Київ)	State University of Trade and Economics (Ukraine)
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича	Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Ukraine)
Люблінська політехніка (Польща)	Lublin University of Technology (Poland)
Гронінгенський університет (Нідерланди)	University of Groningen (the Netherlands)
Кавказький університет (Грузія)	Caucasus University (Georgia)
Політехнічний університет Браганси (Португалія)	Polytechnic Institute of Bragança (Portugal)
Університет Сямень (Малайзія)	Xiamen University (Malaysia)
Мінюський університет (Португалія)	University of Minho (Portugal)

Рекомендовано до опублікування науково-технічною радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № 10 від 27.05.2026 р.)

Редакційна колегія:
Кондіус Інна Степанівна, к.е.н., доцент (декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій)
Ліщина Наталія Миколаївна, к.т.н., доцент
Ліщина Валерій Олександрович, к.т.н., доцент
Андрущак Ігор Євгенович, д.т.н., професор
Тулашвілі Юрій Йосипович, д.пед.н., професор
Козубцов Ігор Миколайович, д.пед.н., с.н.с.
Ящук Андрій Анатолійович, к.т.н., доцент (головний редактор)
Повстяна Юлія Славомирівна, к.т.н., доцент (відповідальний секретар)
Суринович Олена Миколаївна, к.т.н., доцент
Газдюк Катерина Петрівна. PhD, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Дунець Роман Богданович, д.т.н., професор, Львівська політехніка
Komada Pawel, PhD, Politechnika Lubelska (Poland)
Shulga Artem, PhD, University of Groningen (the Netherlands)

С 91 Тези доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології: від теорії до практики (СІнТех-2026)» (22-23 травня 2026 року). Луцьк: ЛНТУ, 2026. 1086 с.

Book of abstracts of the 1st International Scientific and Practical Conference “Modern Information Technologies: From Theory to Practice (MInTech-2026)” (22–23 May 2026). Lutsk: Lutsk National Technical University, 2026. 1086 p.

Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології: від теорії до практики». Видання містить аналіз та результати досліджень, що стосуються актуальних питань інформаційних технологій в галузях освіти, науки та промисловості. Тези доповідей надано в авторській редакції. За фактичний матеріал і його інтерпретацію відповідають автори.

Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference “Modern Information Technologies: From Theory to Practice”. The publication contains analyses and research results addressing current issues in information technologies in the fields of education, science, and industry. The abstracts are published as submitted by the authors. The authors are responsible for the factual content and interpretation of the submitted materials.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Ліщина Н.М.

© Колектив авторів

ЗМІСТ / TABLE OF CONTENTS

СЕКЦІЯ 1. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ
SECTION 1. COMPUTER SCIENCE AND SYSTEMS ANALYSIS

ПРОЄКТУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ТА ЖЕСТІВ ЛЮДИНИ 27
Андрійчук Тарас Володимирович
Сачук Вікторія Олегівна
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ БРОНЮВАННЯ КВИТКІВ У КІНОТЕАТРІ 31
Антонюк Олександр Іванович
Сачук Вікторія Олегівна
ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-МАГАЗИНУ КОМПЮТЕРНОЇ ПЕРИФЕРІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ..... 35
Анісян Рустам Арменович
Хиць Руслан Андрійович
МЕТАЕВРИСТИЧНІ ТА ГІБРИДНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ..... 39
Балейко Артем Сергійович
Михальчук Ганна Йосипівна
ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ПРИ ЇХ ПРОЄКТУВАННІ ... 43
Ванда Ігор Сергійович
Дядюн Сергій Васильович
АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ ВИКОНАННЯ ПРОГРАМ МОВАМИ C++, JAVA, C# ТА PYTHON..... 46
Галагуз Тетяна Олександрівна
Ляшук Тарас Григорович
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА ЕЛЕКТРОННИХ МЕДИЧНИХ ЗАПИСІВ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ КЛІНІЧНИХ РІШЕНЬ 50
Герасимчук Андрій Олегович
Герасимчук Галина Андріївна
АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ МАСШТАБОВАНОСТІ PYTHON-ДОДАТКІВ..... 54
Глинчук Людмила Ярославівна
ОНЛАЙН-МАГАЗИН ВІЙСЬКОВОЇ АМУНІЦІЇ..... 58
Гнатюк Артем Миколайович
Здолбіцька Ніна Василівна
ВЕЛИКІ ДАНІ У ВИБОРІ ЛОКАЦІЙ: НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ РИТЕЙЛУ, ЛОГІСТИКИ ТА МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ 61
Даншина Світлана Юріївна
ІНТЕГРАЦІЯ КВАНТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНІ ПІДХОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ 65
Джалладова Ірада
Камінський Олег Євгенович
ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ ДЛЯ ВЛАСНОГО БРЕНДУ ОДЯГУ НА БАЗІ ФРАЙМВОРКУ VUE.JS 71
Дмитрук Владислав Юрійович
Здолбіцька Ніна Василівна
ПЕРЕВІРКА ТА КОНТРОЛЬ ДАНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОВІТРЯ..... 74
Єфтєні Михайло Вікторович
Шибаєва Наталья Олегівна
АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ПЛАТНОЇ ПАРКОВКИ НА БАЗІ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ ТА ХМАРНИХ СЕРВІСІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ 76
Ільєв Артем Олексійович
Ватаманіца Едгар Вадимович

РОЗРОБКА ВЕБ-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ОБМІНУ ІДЕЯМИ ДОЗВІЛЛЯ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ НАДАННЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ 80
Іщик Антон Олегович
SERVICE-MESH HONEYPOT ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВНУТРІШНІХ СКАНУВАНЬ 83
Котельчук Максим Юрійович
Кошелюк Віктор Андрійович
ПРОЄКТУВАННЯ МОДУЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ 86
Кравчук Владислав Васильович
Хиць Руслан Андрійович
ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТПЛЕЙС НА ОСНОВІ PYTHON 89
Кузьмич Олег Ростиславович
Тулашвілі Юрій Йосипович
ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ HEARTNET-UA 92
Лисенко Юлія Олександрівна
Сачук Вікторія Олегівна
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСНИХ ТЕМ ДЛЯ ПЛАТФОРМИ SHOPIFY З ВИКОРИСТАННЯМ LIQUID 96
Літвінчук Андрій Андрійович
Сачук Вікторія Олегівна
ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ У ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ 99
Ліщина Олександр Валерійович
Сачук Вікторія Олегівна
ХМАРНА ПЛАТФОРМА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАСШТАБОВАНОСТІ ТА ВІДМОВОСТІЙКОСТІ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ 103
Любарський Сергій Володимирович
Яшник В'ячеслав Станіславович
ПОБУДОВА ДОВІРЧИХ ІНТЕРВАЛІВ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ 107
Мельник Анастасія Олександрівна
ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-СЕРВІСУ ДЛЯ КОНВЕРТАЦІЇ ФАЙЛІВ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ 109
Мещерягіна Олександра Костянтинівна
Сачук Вікторія Олегівна
ПОРІВНЯННЯ HTTP ТА GRPC ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ 114
Моісеєва Є.Д.
Дядюн С.В.
Паршенцев Б.В.
АВТОМАТИЗОВАНЕ ПОБУДОВАННЯ АЧХ ТА ВИБІР ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНИХ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІБРОГАСІННЯ ТА ВІБРОІЗОЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ HARMONIC BALANCE 118
Моісеєнко Дмитро Вікторович
Мартиненко Геннадій Юрійович
ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗДОРОВ'Я ТА АНАЛІЗУ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ З НАДАННЯМ ПЕРСОНАЛЬНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ 121
Мосійчук Михайло Олександрович
Сачук Вікторія Олегівна
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ МІКРОСЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ З АВТОМАТИЗОВАНИМ CI/CD, KUBERNETES-ОРКЕСТРАЦІЄЮ 125
Павлюк Владислав Олександрович
Сачук Вікторія Олегівна

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗАВДАНЬ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ 128
Пантюшенко Роман Валерійович
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ОСОБИСТИХ ФІНАНСІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ВИКОРИСТАННЯМ ASP.NET 132
Писаренко Юлія Віталіївна
Сачук Вікторія Олегівна
СЕМАНТИЧНИЙ РОЗРИВ У ЗАДАЧАХ ВІДНОВЛЕННЯ БІЗНЕС-ЛОГІКИ ПОЛІГЛОТНИХ КОРПОРАТИВНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ 137
Понепаляк Андрій Андрійович
Дорогий Ярослав Юрійович
HONEYPOT-КЛАСТЕР ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АТАК НА МІКРОСЕРВІСНУ АРХІТЕКТУРУ 141
Пономаренко Степан Олегович
Кошелюк Віктор Андрійович
АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ МИТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 145
Речун Оксана Юріївна
Герез Тетяна Андріївна
Бачинська Олена Сергіївна
МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ КОРИСТУВАЧІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 148
Романенко Сергій Олексійович
Яшник В'ячеслав Станіславович
ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБОРІЄНТОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ АВТОСЕРВІСУ 152
Савула Максим Петрович
Неділько Ольга Володимирівна
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ В УМОВАХ РОБОТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ДІАГРАМ СТАНІВ 156
Самчук Людмила Михайлівна
Повстяна Юлія Славомирівна
РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИМУЛЯЦІЇ ПОВЕДІНКИ НАТОВПУ ПІД ЧАС ЕВАКУАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ C++ 160
Самчук Людмила Михайлівна
Никитюк Віталій Вікторович
ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДТОКУ КЛІЄНТІВ САЛОНУ КРАСИ 166
Седун Анастасія Валентинівна
Каштан Сергій Степанович
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ АНОМАЛІЙ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ ГРАФІВ ТА ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ 170
Смірнов Тарас Ігорович
Шабатура Юрій Васильович
КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТРИК ЕФЕКТИВНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ..... 174
Сорокопуд Андрій Павлович
Сагайда Павло Іванович

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ЦЕНТРУ УПРАВЛІННЯ СЛУЖБИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ 178
Угрин Дмитро Ілліч
Ушенко Юрій Олександрович
Назарій Анна Дмитрівна
ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ 182
Хиць Руслан Андрійович
ГІБРИДНА СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ НА ОСНОВІ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА КОНТЕНТНОГО АНАЛІЗУ 186
Хомов Денис Олександрович
Булатецька Леся Віталіївна
ВЕБОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СПІЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ СПИСКАМИ З КОНТРОЛЕМ ДОСТУПУ 189
Швець Дарія Павлівна
Неділько Ольга Володимирівна
ГІБРИДНИЙ МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦІЇ МОНОЛІТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ СТАТИЧНОГО ГРАФА ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТА ДИНАМІЧНИХ ТРАС ВИКОНАННЯ 193
Шестакович Маркіян Олегович
Шабатура Юрій Васильович
HIGH-BANDWIDTH LINUX IPC IN HPC ENVIRONMENTS: PERFORMANCE ANALYSIS AND ENGINEERING GUIDELINES 197
Danyliuk Ivan Mykhailovych
DESIGN AND SIMULATION-BASED VALIDATION OF A DISTRIBUTED IOT EVENT LOGGING SUBSYSTEM IN COMPUTER INFRASTRUCTURES 201
Nazar Omeliukh
Halyna Klym
Taras Tkachuk
THE IT PROJECT MANAGEMENT SYSTEM ASANA IN CASE OF DEVOPS TEAMS 205
Strelchuk Kyrylo
Kozulia Mariia

СЕКЦІЯ 2. ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОЄКТНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ
SECTION 2. SOFTWARE ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT

LLM-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 209
Бадьора Ярослав Михайлович
Шумиляк Лілія Михайлівна
ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ КОНСОЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОБЛІКУ ЗАДАЧ МОВОЮ GO 213
Бобела Анастасія Сергіївна
Неділько Ольга Володимирівна
Герасимюк Леся Сидорівна
РОЗРОБКА КРОСПЛАТФОРМНОГО ЗАСТОСУНКУ ЗАСОБАМИ .NET MAUI ТА BLAZOR HYBRID 216
Гаврилюк Денис Ігорович
Повстяна Юлія Славомирівна
ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РІВНІВ У КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ 220
Геока Євгеній Ілліч
Соколова Євгенія Віталіївна

МОДУЛЬНИЙ МОНОЛІТ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА КЛАСИЧНИМ ПІДХОДАМ У ПРОЄКТУВАННІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ 224
Горшков Володимир Володимирович
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЕКОСИСТЕМИ ПРОДАЖУ АВТОМОБІЛЬНИХ АКСЕСУАРІВ ВІД ВЛАСНИКІВ 228
Гунько Ігор Андрійович
Льовкін Валерій Миколайович
ВИПРОБУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ – ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАРІННЯ 230
Добровольський Юрій Георгійович
Мусатов Андрій Владиславович
АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ ПІДХОДІВ ДО АВТОРИЗАЦІЇ У ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМАХ 233
Долід Олександр Олександрович
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКОГО ОБЛІКУ ДЛЯ ІНТЕРНЕТ МАГАЗИНУ 237
Зенько Дмитрій Володимирович
Здолбіцька Ніна Василівна
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАНЯТЬ ТАНЦЯМИ НА ІНДИВІДУАЛЬНІЙ ОСНОВІ 240
Зівер Олександра Сергіївна
Льовкін Валерій Миколайович
ПРОТОТИП ІНТЕРПРЕТОВАНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ 242
Колодка Павло Андрійович
Шевченко Ілона Володимирівна
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ШВИДКОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СТУДЕНТІВ У ЗАКЛАДАХ ХАРЧУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 246
Коробчук Назар Олександрович
Семенюк Владислав Григорович
Іванюк Маріанна Василівна
ПРОЄКТУВАННЯ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ НАСТРОЮ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ЛОКАЛЬНОЇ LLM 249
Кравчук Арсентій Сергійович
Ящук Андрій Анатолійович
ВИКОРИСТАННЯ CLEAN ARCHITECTURE ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ 252
Луценко Михайло Миколайович
Повстяна Юлія Славомирівна
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ВИМОГАМИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ В ІТ-ПРОЄКТАХ 256
Ляшенко Оксана Анатоліївна
РОЗРОБКА WPF-ДОДАТКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ MVVM-АРХІТЕКТУРИ 260
Модло Уляна Євгеніївна
Антоненко Світлана Валентинівна
ІНТЕГРАЦІЯ API ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БАЗОВІ .NET ДОДАТКИ 263
Морохович Богдан Васильович
Бабічук Дмитро Миколайович
ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОГРАМУВАННЯ 267
Морохович Василь Степанович
Яворський Петро Володимирович
Феделеш Дарина Василівна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕБЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОРІВНЕВОГО КЕШУВАННЯ..... 271
Надашкевич Анастасія Геннадіївна
Ліщина Наталія Миколаївна
ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ВХІДНИХ ДАНИХ НА ДЕГРАДАЦІЮ АЛГОРИТМУ QUICK SORT..... 274
Нестерук Ірина Юріївна
Кіндєєва Анастасія Олександрівна
Лучшева Оксана Вадимівна
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ LLM-ІНСТРУМЕНТІВ У ПРОЦЕСАХ ГЕНЕРАЦІЇ ТА РЕФАКТОРИНГУ КОДУ 280
Носик Євген Володимирович
МЕТОДИКА ПОРІВНЯННЯ ПЛАТФОРМ СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ ТА AIOPS У DEVOPS..... 284
Пилипенко Даніїл Тарасович
ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ЯКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОВІРЧОГО ЕЛІПСОЇДУ ДЛЯ НОРМАЛІЗОВАНИХ МЕТРИК RFC, CBO ТА WMC 287
Приходько С.Б.
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРОКАТУ ГАБАРИТНИХ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ 291
Піддубчак Данило Володимирович
Льовкін Валерій Миколайович
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ СПІЛЬНОЇ РИБОЛОВЛІ 293
Пічко Герман Геннадійович
Льовкін Валерій Миколайович
МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ФІТНЕС-ОРІЄНТОВАНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ 295
Рижок Соломія Юріївна
Повстяна Юлія Славомирівна
ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНСТРУМЕНТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ..... 299
Романенко Микола Юрійович
Ящук Андрій Анатолійович
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ОРЕНДИ М'ЯКИХ МЕБЛІВ..... 303
Романік Данило Андрійович
Льовкін Валерій Миколайович
ВЕБЗАСТОСУНКИ ЯК ЗАСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ 305
Савлук Максим Олександрович
Повстяна Юлія Славомирівна
РОЗРОБКА МОДУЛЬНОЇ ІНТЕГРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ TELEGRAM-БОТА З AI ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ З КОРПОРАТИВНИМИ СЕРВІСАМИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ВИКОРИСТОВУЮЧИ PYTHON..... 309
Свиржевський Максим Анатолійович
Ящук Андрій Анатолійович
АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБ У ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ АПТЕК..... 313
Тарновецька Ольга
Дмитращук Кристина
РЕРАНЖУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІЗУАЛЬНОГО ПОШУКУ ТОВАРІВ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОЇ ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНОЇ ПОДІБНОСТІ ТА КІЛЬКОСТІ СПІВПАДІНЬ..... 316
Тиский Християн

ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 321
Хвищун Денис
Хвищун Микола
РОЗРОБКА ВЕБПЛАТФОРМИ ДЛЯ ОРЕНДИ КВАРТИР З ІНТЕГРАЦІЄЮ AI-ПОМІЧНИКА НА ОСНОВІ REACT, DJANGO ТА SQLITE 325
Федіна Ірина Миколаївна
Потейчук Михайло Іванович
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМУВАННЯ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ ПЕРЕВІРКОЮ КОДУ 329
Франовський Дмитро Христович
Ящук Андрій Анатолійович
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕБПЛАТФОРМ 333
Хітько Юлія Володимирівна
Ліщина Наталія Миколаївна
ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЙМІФІКАЦІЇ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВЕБПЛАТФОРМАХ ДЛЯ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ 337
Чоботар Юлія Сергіївна
Ліщина Наталія Миколаївна
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕКСТУВАННЯ ВЕБЗАСТОСУНКІВ..... 341
Юзепчук Вероніка Юріївна
Андрущак Ігор Євгенович
АВТОМАТИЗОВАНЕ ТЕСТУВАННЯ ВЕБДОДАТКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ..... 344
Яроцький Михайло Віталійович
Сяський Володимир Андрійович
IMPLEMENTATION OF A REPLAY SUBSYSTEM FOR A HIGH-LOAD MARITIME TRAFFIC VISUALIZATION SYSTEM WITH AN UNSTABLE DATA SOURCE..... 348
Sofiia Burimova
Hanna Mykhalchuk
DEVELOPMENT AND INVESTIGATION A SOFTWARE TOOL FOR OBSERVABILITY IN MICROSERVICE APPLICATIONS..... 352
Mahdi H. Miraz
Serhiy Bilyk
SOFTWARE-DRIVEN INNOVATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION 354
Olena Surynovych
José Mendes Machado

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ
SECTION 3. COMPUTER ENGINEERING AND HARDWARE-SOFTWARE SYSTEMS

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КВАДРОПЕДНА РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА НА БАЗІ RASPBERRY PI З ВИКОРИСТАННЯМ LLM 359
Гринюк Сергій Васильович
Поварчук Станіслав Вікторович
Невинний Назар-Ілля Віталійович
СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА-ПАТРУЛЯ НА БАЗІ IoT-ТЕХНОЛОГІЙ 363
Гринюк Сергій Васильович
Поліщук Микола Миколайович
Горалюк Максим Валерійович

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ 367
Єрофеєв Юрій Володимирович
АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ K-НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ (KNN) ТА МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ (PCA) ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ В IOT-МЕРЕЖАХ 371
Калашник Максим Олександрович
ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ГОЛОСОВОГО АСИСТЕНТА 374
Ломакін Владислав Леонтійович
Костючко Сергій Миколайович
АДАПТИВНИЙ МЕТОД ЗЛИТТЯ ДАНИХ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ ДЕГРАДАЦІЇ MEMC-ГІРОСКОПІВ У СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ БПЛА 377
Музиченко Адріан Олександрович
Дунець Роман Богданович
АРХІТЕКТУРА ТА СИСТЕМНІ МЕХАНІЗМИ КЕРУВАННЯ КАМЕРОЮ В ANDROID 382
Приходько Ігор Миколайович
Ляшук Тарас Григорович
ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВЕНДИНГОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБАМИ IOT-МОНІТОРИНГУ 385
Руснак Роман
ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ 389
Хвищун Денис
DEVELOPMENT OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR REAL-TIME SENSOR DATA PROCESSING 393
Brechko Veronika
OPTIMIZING RADAR DATA PROCESSING AND DISPLAY THROUGH HYBRID ASSOCIATION AND MULTI-BUS SOC HARDWARE ACCELERATION 396
Vitaliy Kariagin
ADAPTIVE DATA TRANSMISSION STRATEGIES FOR UAV-BASED LOCALIZED METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEMS 400
Vladyslav Shevchuk
Halyna Klym
Taras Tkachuk
STUDY OF THE EFFICIENCY OF A SOFTWARE CONTROL ALGORITHM FOR A DUAL-AXIS SOLAR TRACKER TO OPTIMIZE THE ANGLE OF INCIDENCE OF SOLAR RADIATION 403
Artem Shulga
Mykhailo Poteichuk

СЕКЦІЯ 4. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
SECTION 4. INFORMATION SYSTEMS AND DIGITAL TECHNOLOGIES

СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ВЕБ-СИСТЕМ ДЛЯ ЛІТЕРАТУРНИХ ПРОЕКТІВ: ІНТЕГРАЦІЯ СТОРІТЕЛІНГУ ТА ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ 408
Абрагамовський Орест Вікторович
Неділько Ольга Володимирівна
ОПТИМІЗАЦІЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ЗАПАСІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАТРИЧНОГО ABC/XYZ-АНАЛІЗУ 411
Анісімов Святослав Ігорович
Назарова Ірина Акопівна

ЗАСТОСУВАННЯ UX-МЕТОДІВ У РОЗРОБЦІ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТРЕСУ СТУДЕНТІВ CARECAT 413
Банацька Катерина Петрівна
Максимук Христина Михайлівна
Савчук Дарина Анатоліївна
МОДЕЛЮВАННЯ IOT-СИСТЕМ У ВІРТУАЛЬНОМУ МЕРЕЖЕВОМУ СЕРЕДОВИЩІ 417
Бель Ангеліна Олександрівна
Шинкарчук Назар Володимирович
ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ UNITY ДЛЯ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ 421
Бойко Лев Степанович
Гомон Максим Петрович
Яценюк Максим Миколайович
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФОРМАТІВ ДАНИХ ДЛЯ МІЖСЕРВІСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ У РІШЕННЯХ З МІКРОСЕРВІСНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ НА GOLANG 424
Бойко Лев Степанович
Олефірук Юлія Миколаївна
Сулік Тарас Юрійович
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ 427
Боярська Ірина Юріївна
Потейчук Михайло Іванович
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБЛІК ВІДВІДУВАНОСТІ СТУДЕНТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ QR-КОДУ ТА ГЕОЛОКАЦІЇ 430
Будь Лілія
Повстяна Юлія
РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОРТФОЛІО ДИЗАЙНЕРІВ 435
Вакульчак Василь Васильович
Морохович Василь Степанович
Полякова Злата Сергіївна
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОПЕРАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ЗАВДАННЯМИ НАУКОВИМИ ПРАЦІВНИКАМИ 439
Гаврильчик Анастасія Юріївна
ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ У KUBERNETES-КЛАСТЕРАХ AWS EKS 442
Горський Михайло
Ушенко Юрій
РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЛІНІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА ПСИХОМЕТРИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ 447
Грошев Владислав Вячеславович
Потейчук Михайло Іванович
ВИКОРИСТАННЯ NOTEBOOKLM ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ ЗНАНЬ У МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ 450
Гулієва Наталія Михайлівна
Лавчук Сергій Олександрович
ВИКОРИСТАННЯ QR-КОДІВ У КЛІЄНТ-СЕРВЕРНИХ POS-СИСТЕМАХ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ 454
Гулієва Наталія Михайлівна
Ткачук Микола Анатолійович

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ БРОНЮВАННЯ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ ЗАСОБАМИ ВЕБТЕХНОЛОГІЙ 457
Гулієва Наталія Михайлівна
Троцюк Андрій Вікторович
ВІРТУАЛЬНИЙ ОФІС ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ N8N 460
Дорогий Ярослав Юрійович
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ВЗАЄМОВІДНОСИН З КЛІЄНТАМИ В СИСТЕМІ SAP BUSINESS ONE: ТЕОРЕТИЧНИЙ ТА ПРИКЛАДНИЙ АСПЕКТИ 463
Дуда Галина Богданівна
ПРОЄКТУВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ МЕНЮ РЕСТОРАНУ КИТАЙСЬКОЇ КУХНІ 466
Дін Сюі-Вадим Фучін
Неділько Ольга Володимирівна
ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ У СЕРВІСНИХ ПРОЄКТАХ АПК 469
Желєзняк Алла Михайлівна
Жуковський Роман-Ростислав Тарасович
САМООПТИМІЗУЮЧІ АЛГОРИТМИ ВИКОНАННЯ JOIN-ОПЕРАЦІЙ У СУЧАСНИХ АНАЛІТИЧНИХ СУБД 473
Захаров Микита Миколайович
Угрин Дмитро Ілліч
ПРО РЕАЛІЗАЦІЮ КОНЦЕПЦІЇ BYOD В СКУД 477
Зінчук Олександр Олександрович
Руднік Денис Петрович
Кайдик Олег Леонтійович
МОНІТОРИНГ ТЕЛЕМЕТРІЇ АВТОМОБІЛЯ ЗАСОБАМИ ПЛАТФОРМИ THINGSBOARD ТА ПРОТОКОЛУ MQTT 480
Корнійчук Олександр Васильович
Шинкарчук Назар Володимирович
ОГЛЯД ТРЕНДІВ ВЕБДИЗАЙНУ 2025-2026 484
Корнійчук Лілія Валеріївна
ПРОЄКТУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ЛОКАЛЬНОГО РОЗГОРТАННЯ МІКРОСЕРВІСНОЇ СИСТЕМИ УНІВЕРСИТЕТУ ЗАСОБАМИ DOCKER COMPOSE 488
Коротчук Андрій Вікторович
ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПАЦІЄНТІВ У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ 492
Кубах Андрій Миколайович
Неділько Ольга Володимирівна
ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ INITIAL STATE ДЛЯ ЗБОРУ І ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 495
Кузьмич Марія Олександрівна
Шинкарчук Назар Володимирович
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ 499
Кут Василь Іванович
Морохович Василь Степанович
Ільків Олександр Олександрович
АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ХОСТИНГУ З UI-ЕЛЕМЕНТАМИ КЕРУВАННЯ СЕРВЕРОМ 503
Кут Василь Іванович
Морохович Василь Степанович
Куруца Роман Романович

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 507
Кут Василь Іванович
Яворський Петро Володимирович
Немеш Іван Олександрович
СИСТЕМА СЕМАНТИЧНОГО ПОШУКУ У ВІДЕОКОНТЕНТІ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЧНОЇ ТРАНСКРИПЦІЇ ТА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ВЕЛИКОЇ МОВНОЇ МОДЕЛІ 511
Левицький Олесь Васильович
Д'яченко Лілія Іванівна
ВПРОВАДЖЕННЯ ПІДХОДІВ SEO-ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ 515
Левченко Максим Андрійович
Білобородько Оксана Іванівна
АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ IOT-СИСТЕМИ ДОМАШНЬОГО КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДОМАШНІХ ТВАРИН 519
Ліщина Валерій Олександрович
Чарук Владислав Русланович
ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ОСНОВА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ У КОНТЕКСТІ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ 524
Любименко Олена
Маслова Наталія
Штепа Олександр
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ 528
Матющенко Дмитро Максимович
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ DIGITAL SIGNAGE З ВИКОРИСТАННЯМ СТЕКУ .NET, RABBITMQ ТА MONGODB 531
Михалевич Назар Дмитрович
Суринович Олена Миколаївна
РОЗРОБКА ВЕБДОДАТКУ ДЛЯ ОНЛАЙН-ТОРГІВЛІ АВТОМОБІЛЯМИ З ІНТЕГРОВАНИМ МОДУЛЕМ СТРАХУВАННЯ 535
Морохович Василь Степанович
Данканич Михайло Михайлович
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТУРИСТИЧНИХ МІСЦЬ УЖГОРОДА 539
Морохович Василь Степанович
Сігетій Остап Олександрович
DEVOPS-ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗГОРТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МЕРЕЖЕВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ VIRTUALBOX ТА PYTHON 543
Павленко Максим Петрович
Молчанов Віктор Вікторович
МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ 547
Пасічник Володимир Володимирович
Морохович Василь Степанович
Веремеєнко Раїса Володимирівна
ГОЛОВНІ НАПРЯМКИ ІНТЕГРАЦІЇ ГІС ТА ОХОРОННИХ СИСТЕМ 551
Пугач Сергій Олександрович
Сушик Вадим Володимирович
Федорук Любомир Миколайович

ДО ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРА ПОЛІГОНА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ 555
Садовий Микола Олександрович
Дердюк Юрій Сергійович
Кайдик Олег Леонтійович
ВЕБЗАСТОСУНОК З ПІДТРИМКОЮ СМАРТ-КОНТРАКТІВ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИКОНАННЯ КРИПТОТРАНЗАКЦІЙ 559
Сорочук Юрій Вікторович
Неділько Ольга Володимирівна
ГІБРИДНА МОДЕЛЬ КОМУНІКАЦІЇ В МІКРОІНТЕРФЕЙСАХ: ІНТЕГРАЦІЯ WEBASSEMBLY, SHAREDARRAYBUFFER TA EVENT BUS 563
Степанов Олександр
Клим Галина
ВІДКЛАДЕНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ЗА ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ЗВ'ЯЗНОСТІ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ 566
Ткачов Віталій Миколайович
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОРІВНЕВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДАТА-ЦЕНТРУ 570
Фролов Дмитро Євгенович
БЕЗСЕРВЕРНА АРХІТЕКТУРА АНАЛІТИКИ ДАНИХ В MICROSOFT AZURE 574
Шевцова Наталія Вікторівна
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ IOT-СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ KUBERNETES TA SRE-ПРАКТИК 577
Шитіков Максим Юрійович
Ліщина Наталія Миколаївна
КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ 581
Шумейко Костянтин Павлович
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА NFT З ПІДТРИМКОЮ ERC-721 ТА ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ 585
Якимук Дмитро Миколайович
Ящук Андрій Анатолійович
DEPENDENCY PROBLEMS IN CLOUD COMPUTING PLATFORMS 590
Igor Andrushchak
Heorhii Bandach
MODERN APPROACHES TO AUTOMATED WEB APPLICATION TESTING: A COMPARATIVE ANALYSIS OF CYPRESS, SELENIUM, AND PLAYWRIGHT 594
Krasnokutska Inessa
Dutchak Olha

СЕКЦІЯ 5. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ
SECTION 5. CYBERSECURITY AND INFORMATION PROTECTION

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ DISCORD-СЕРВЕРАМИ 599
Апопій Георгій Іванович
Готинчан Тетяна Іванівна
МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ANDROID-ПРИСТРОЇВ 603
Бадалян Назарій Гарсеванович
Ляшенко Оксана Анатоліївна
Радуль Олександр Анатолійович

РЕАЛІЗАЦІЯ ІЗОЛЯЦІЇ ДАНИХ У ВЕБЗАСТОСУНКАХ НА LARAVEL І POSTGRESQL 609
Бодяк Віталій Олегович
Повстяна Соломія
АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ШИФРУВАННЯ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 613
Бойко Лев Степанович
Мартинюк Наталія Ярославівна
Мороз Ірина Леонідівна
ЗАХИСТ ПЕРИМЕТРУ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ CISCO 616
Вовк Петро Богданович
СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ IoT-ПРИСТРОЇВ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗАХИСТУ 620
Грезіна Олена Миколаївна
Пядишев Володимир Георгійович
АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ З БАГАТОФАКТОРНОЮ АВТЕНТИФІКАЦІЄЮ 625
Гринюк Сергій Васильович
Конкевич Людмила Миколаївна
Трофімчук Андрій Анатолійович
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕТЕКТУВАННЯ ПРИХОВАНИХ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ 629
Гринюк Сергій Васильович
Костючко Сергій Миколайович
Міскевич Оксана Іванівна
АНАЛІЗ РАДІОЧАСТОТНИХ ЗАГРОЗ ТА МЕТОДІВ ПРИХОВАНОГО ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ В КОНТЕКСТІ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ 633
Гринюк Сергій Васильович
Саміла Андрій Петрович
Поліщук Лілія Олексіївна
МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ІНСАЙДЕРСЬКИМ АТАКАМ НА ОСНОВІ DLP-ПІДХОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТЕНТНО-ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ 637
Загребельний Владислав Вікторович
Петляк Наталія Сергіївна
ВПЛИВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ НА БЕЗПЕКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ: ФІШИНГ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР ЯК КЛЮЧОВІ ВЕКТОРИ ЗАГРОЗ 641
Ілюкова Софія Андріївна
Рейнська Вікторія Борисівна
АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ 645
Кирилюк Ольга Василівна
Рейнська Вікторія Борисівна
ПОБУДОВА ПОСТКВАНТОВОГО МЕХАНІЗМУ ІНКАПСУЛЯЦІЇ КЛЮЧА НА ОСНОВІ AJPS-KEM$_2$ 649
Ковальчук Анастасія Вячеславівна
Ядуха Дарія Вікторівна
ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІВ В КІБЕРБЕЗПЕЦІ 653
Козубцова Леся Михайлівна
Козубцов Ігор Миколайович
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРАТАК 657
Кондіус Інна Степанівна
Кондіус Костянтин Юрійович

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ 660
Костючко Сергій Миколайович
Міскевич Оксана Іванівна
Цехмайструк Артем Васильович
ЗАХИЩЕНА WEBSOCKET-КОМУНІКАЦІЯ З ДИНАМІЧНОЮ РОТАЦІЄЮ КЛЮЧІВ 664
Костючко Сергій Миколайович
Сурова Наталія Миколаївна
Руденко Олександр Олександрович
РЕЗУЛЬТАТИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ КРИПТОГРАФІЧНИХ АЛГОРИТМІВ У ЗАДАЧАХ ЗАХИСТУ МОБІЛЬНИХ І СУПУТНИКОВИХ МЕРЕЖ 668
Лактіонов Іван Сергійович
КРИПТОГРАФІЧНА ОБРОБКА ОБЛІКОВИХ ДАНИХ КОРИСТУВАЧА В МЕРЕЖЕВОМУ ОБЛАДНАННІ 671
Литвин Вадим Анатолійович
Костючко Сергій Миколайович
Поліщук Микола Миколайович
Гринюк Сергій Васильович
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 674
Лєдок Марина Валеріївна
МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО ШИФРУВАННЯ ДАНИХ НА ОСНОВІ КОЛІРНОГО МАРКУВАННЯ . 677
Маркевич Назар Васильович
Здолбіцька Ніна Василівна
ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ РИЗИКУ ВИТОКУ ДАНИХ В AI-ІНТЕГРОВАНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМАХ 681
Марценюк Євгеній Віталійович
СТОП-ЛОСС ТА ТЕЙК-ПРОФІТ, ЯК ІНСТРУМЕНТИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ 686
Міскевич Оксана Іванівна
Дехтярчук Артур Хачатурович,
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КІБЕРЗАГРОЗ У БАНКІВСЬКО-ФІНАНСОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ 690
Могілей Сергій Олександрович
Терновий Євген Ігорович
ПОШУК ОБОРОТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ГРУПОВИХ КІЛЬЦЯХ НАД КІЛЬЦЕМ ЦІЛИХ ЧИСЕЛ .. 694
Оберишин Роксолана Ростиславівна
Попович Роман Богданович
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ПОШУКУ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ РАДІОЗАКЛАДНИХ ПРИСТРОЇВ У ВИСОКОЗАШУМЛЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ 698
Поліщук Микола Миколайович
Саміла Андрій Петрович
СУЧАСНІ МЕТОДИ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ У ХМАРНИХ СЕРВІСАХ 703
Поліщук Яна Іванівна
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОТОКОЛІВ ШИФРУВАННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ДАНИХ 707
Рак Дмитро Олександрович
Петренко Сергій Вікторович
ПРИВАТНІСТЬ ЯК ІЛЮЗІЯ: ТЕХНІЧНІ МЕХАНІЗМИ ПРИХОВАНОГО ЗБОРУ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ВЕБ-ЗАСТОСУНКАХ ТА ПРОБЛЕМА ЦИФРОВОЇ ГРАМОТНОСТІ 711
Романюк Роман Олександрович
Потейчук Михайло Іванович
ЗАСТОСУНОК СТВОРЕННЯ І ПЕРЕВІРКИ ВАЛІДНОСТІ ЛІЦЕНЗІЙНИХ КЛЮЧІВ 715
Сафонов Владислав Олегович

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЯВЛЕННЯ ФІШИНГОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У КОРПОРАТИВНИХ КОМУНІКАЦІЯХ 718
Соколов Богдан Олександрович
Ящук Андрій Анатолійович
АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ SWIFT-ДОДАТКІВ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ НА ОСНОВІ OWASP MOBILE 723
Стрельніков Владислав
Мельник Катерина
ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ 727
Тарасенко Ярослав Володимирович
Матусяк Павло Олександрович
ПОВЕДІНКОВА МОДЕЛЬ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖЕВОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ SLIPS 730
Чернишук Сергій Вікторович
Жуков Анатолій Олексійович
АНАЛІЗ СКЛАДНОСТІ ЗАДАЧІ GMLHRSP ДО АТАКИ НА ОСНОВІ РЕШІТОК 734
Шевченко Анастасія Євгенівна
Ядуха Дарія Вікторівна
ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ КІБЕРРИЗИКАМИ У ДІЯЛЬНОСТІ CERT/CSIRT НА ОСНОВІ ІНДИКАТОРІВ БЕЗПЕКИ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНЦИДЕНТІВ 739
Ящук Валентина Ігорівна
Лукашов Олексій Андрійович
OPTIMIZING ZK-BIOMETRIC COMPUTATIONS ON MOBILE DEVICES USING BINARY ARITHMETIC IN CIRCOM 743
Mykola Khranovskyi
Andriy Kernytskyy
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED NEWS COLLECTION AND AGGREGATION SYSTEM FOR OSINT ANALYSIS..... 749
Valerii Lishchyna
Maksim Iavich
FEATURES OF USING AN EFFECTIVE METHOD OF CONNECTING TO THE INTERNET 753
Martsenyuk Vasyl
Andrushchak Igor
AI-ORIENTED APPROACH TO SAFE PRIME SEARCH 757
Maslova Natalia
Liubymenko Olena
Shtepa Oleksandr
FIREWALLS: ASPECTS OF MODERN RESEARCH IN SECURITY METHODS AND THREATS..... 762
Sverstyuk Andriy
Andrushchak Igor
CYBERSECURITY AND INFORMATION PROTECTION IN THE DIGITAL AGE: THREATS, PRINCIPLES, AND PREVENTIVE STRATEGIES 765
Anastasiia Urupa
Indira Renska

СЕКЦІЯ 6. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА МАШИННЕ НАВЧАННЯ
SECTION 6. INTELLIGENT SYSTEMS AND MACHINE LEARNING

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КРИМІНОЛОГІЇ..... 769
Бондар Вікторія Володимирівна

ЗАСТОСУВАННЯ ШІ У ВИЯВЛЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ 773
Браїловський Володимир Васильович
Галюк Сергій Дмитрович
Денисюк Андрій Вадимович
Рождественська Маргарита Григорівна
ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ АГРАРНИХ РІШЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ LLM НА ОСНОВІ GRPO ТА COT 777
Візнюк Артем Валентинович
Лактіонов Іван Сергійович
ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ АНОМАЛІЙ ЗА ОБМЕЖЕНИХ ДАНИХ 781
Воробець Ігор Володимирович
АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПОКАЗНИКІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ 784
Головня Сергій Анатолійович
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПОДІЛУ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ НА ОСНОВІ MILP-МОДЕЛІ 788
Горобець Олександр Миколайович
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-СЕРВІСІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКИХ ФРАЗЕОЛОГІЗМІВ ТА ІДІОМ 791
Дмитерко Каріна Сергіївна
Линник Юрій Миколайович
ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ТА ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ 795
Єсипчук Андрій Євгенович
Д'яченко Лілія Іванівна
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 798
Жилка Максим Вікторович
Мацуга Ольга Миколаївна
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА КІЛЬКОХ GPU.. 802
Замета Марія Олександрівна
Аксак Наталія Георгіївна
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ 806
Зленський Андрій Олексійович
ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ ВЕБІНТЕРФЕЙСІВ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 809
Ковалюк Денис Ярославович
Павленко Юлія Степанівна
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СТУПЕНЯ ПОШКОДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ЗОБРАЖЕННЯХ БПЛА 813
Кравець Ілля Вячеславович
Угрин Дмитро Ілліч
ЕФЕКТИВНІСТЬ МАШИННОГО ПЕРЕКЛАДУ З АНГЛІЙСЬКОЇ НА УКРАЇНСЬКУ МОВУ 817
Мельник Катерина
Омельчук Дмитро
Лавренчук Світлана
АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ GCP VERTEX AI, KUBERNETES, DATAFLOW ТА МІКРОСЕРВІСІВ 821
Мовченюк Роман Валерійович
Газдюк Катерина Петрівна

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ РОЗМІРНОСТІ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕКОРЕГОВАНОЇ ГОСТРОТИ ЗОРУ 825
Нагорний Роман Олегович
Мацуга Ольга Миколаївна
ВЕБ-ПЛАТФОРМА КЛАСИФІКАЦІЇ ТРАВМ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЯХ З ВЕРИФІКАЦІЄЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПЕРАТОРОМ 829
Народова Оксана Вікторівна
Угрин Дмитро Ілліч
АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА КОНВЕЄРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ 833
Повстяна Юлія Славомирівна
Йоц Іван Васильович
ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО СИНТЕЗУ МОВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНКЛЮЗИВНОСТІ НАСТІЛЬНИХ ІГОР 839
Подоляк Володимир Миколайович
Тарасюк Людмила Михайлівна
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМАХ 844
Рудніченко Микола Дмитрович
Шибаєва Наталя Олегівна
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА: IOT-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЛАТФОРМА E-WATER В УКРАЇНІ 848
Смирнова Софія Олександрівна
ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У МЕТРИКАХ IT-ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА БЕЗ УЧИТЕЛЯ НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЇ ISOLATION FOREST ТА АВТОКОДУВАЛЬНИКА 852
Смірнов Дмитро Сергійович
РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ IT-ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 856
Смірнов Дмитро Сергійович
АРХІТЕКТУРА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ОСНОВІ JAVA-СЕРВІСУ 860
Срібний Олександр Ігорович
Газдюк Катерина Петрівна
АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ КРИПТОВАЛЮТНИХ ІНВЕСТИЦІЙ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ 864
Шведов Денис Валерійович
ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ЯКІСНОЇ ОЦІНКИ ТА АНАЛІЗУ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ 868
Шведов Денис Валерійович
АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ У ЛОГІСТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЕКОСИСТЕМАХ 872
Шибаєва Наталя Олегівна
Рудніченко Микола Дмитрович
АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ТА МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНИХ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ З КОМП'ЮТЕРНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ 876
Ярош Максим Вадимович
HYBRID LLM ARCHITECTURES FOR RELIABLE DOMAIN-SPECIFIC MODEL COMPUTATION .. 880
Vitaliy Bozhovskiy
Halyna Klym

METHOD OF CONTROLLED IMAGE DEGRADATION FOR DETECTING ATTENTION CENTERS IN CLASSIFICATION NEURAL NETWORKS 883
Oleksandr Dorenskyi
Oleksandr Drieiev
Hanna Drieieva
ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR FORECASTING TASKS 887
Valerii Lishchyna
Paweł Komada
AIR POLLUTION PREDICTION USING A DUAL-STREAM LSTM MODEL WITH ENVIRONMENTAL AND STATION DATA 891
Ivan Rudavskyi
Halyna Klym
PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS AS A TOOL FOR NANOMATERIAL MODELLING ... 893
Sova Ivan
Kozlov Oleksiy
Lysenkov Eduard
INTELLIGENT NLP PARSING AND SEMANTIC JOB MATCHING FOR ENHANCED RECRUITMENT PROCESSES NETWORKS 897
Stanislav Tarnohurskyi
Serhii Petrenko
DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR ADAPTIVE ROUTING DECISIONS IN DYNAMIC TRANSPORT NETWORKS 900
Tolkunov Dmytro
Natali Shybaieva

СЕКЦІЯ 7. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА НАУЦІ
SECTION 7. INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION AND SCIENCE

АНАЛІТИЧНІ ПАРАМЕТРИ КОНЦЕПЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ БАГАТОДОМЕННОГО ПРОТИСТОЯННЯ 904
Базарний Сергій Васильович
Терновий Олександр Васильович
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМУНІКАЦІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ 909
Беньковська Наталя Борисівна
КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ КРИСТАЛІВ ІС 913
Браїловський Володимир Васильович
Іванчук Михайло Михайлович
Рождественська Маргарита Григорівна
Мельник Михайло Сергійович
МОДУЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ УСПІШНОСТІ КОРИСТУВАЧА В LMS MOODLE 917
Бринчук Марія Олексіївна
Булатецький Віталій Вікторович
ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ НАЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ 920
Ващук Дмитро Олександрович
Ляшенко Оксана Анатоліївна
ЦИФРОВА STEM-ПЛАТФОРМА ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ОСВІТИ, НАУКИ ТА ПРАКТИКИ 924
Демчук Марія Олегівна
Гулай Ольга Іванівна
ЦИФРОВА КУЛЬТУРА ТА ЕТИКА ОФІЦЕРА В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ: ЗАПОБІГАННЯ РЕПУТАЦІЙНИМ РИЗИКАМ У ЦИФРОВУ ЕПОХУ 928
Деміхова Світлана Василівна

ІНТЕРАКТИВНЕ ТЕСТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ МЕДИЧНОЇ ОСВІТИ 931
Деркач Марина Сергіївна
Мандрікова Людмила Василівна
ЗАСТОСУНОК ІНТЕРАКТИВНА ГРА-ЛАБІРИНТ З ПРОЦЕДУРНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЄЮ АЛГОРИТМУ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ 936
Десятник Олексій Олександрович
Здолбіцька Ніна Василівна
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТАКСОНОМІЙ ТЕХНІК ПРОМПТИНГУ 939
Дієордіца Таяна-Лідія
Толмачов Володимир Сергійович
ВИКОРИСТАННЯ IBM SPSS STATISTICS У ПСИХОДІАГНОСТИЦІ 943
Злобін Владислав Олександрович
Норік Лариса Олексіївна
ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ОБРОБКИ ДАНИХ У ПСИХОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ: ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ U-КРИТЕРІЮ МАННА–ВІТНІ В MS EXCEL 947
Карпіка Дар'я Миколаївна
Норік Лариса Олексіївна
ФОРМУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ У ПРОЦЕСІ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ШІ-КОНТЕНТУ 951
Кисельова Олеся Борисівна
Хміль Наталія Анатоліївна
ПІДВИЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ МОТИВАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ В УМОВАХ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ 955
Козубцов Ігор Миколайович
ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «ВИЩА МАТЕМАТИКА» 959
Козубцова Леся Михайлівна
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИКЛАДАННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ 962
Крадінова Тетяна Адамівна
Гуда Оксана Вікторівна
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ЗАСІБ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ 966
Литвиненко Евеліна Володимирівна
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ДРАЙВЕР РОЗВИТКУ ОСВІТИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ 970
Насмінчук Ірина Анатоліївна
Ніколайчук Сергій Юрійович
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВЕБТЕХНОЛОГІЯХ В ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ 974
Неділько Ольга Володимирівна
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ 978
Овдійчук Марія Олександрівна
Каштан Сергій Степанович
КОГНІТИВНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ В ЕПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ВПЛИВ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ НАВИЧОК У СТУДЕНТІВ 982
Озаринський Максим Геннадійович
Потейчук Михайло Іванович
ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОЛАБОРАЦІЇ В СИСТЕМІ НАУКОВОГО КЕРІВНИЦТВА СТУДЕНТІВ. 986
Павленко Лілія Василівна
Павленко Максим Петрович

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХМАРНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ IoT-ПРОЄКТІВ 990
Пташник Вадим Вікторович
Станько Володимир Юрійович
ВИКЛИКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ: СТРАТЕГІЇ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ В УМОВАХ ТРАНСКОРДОННОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ 994
Радуль Олександр Анатолійович
ВЕКТОРНІ БАЗИ ДАНИХ ТА RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION У ПОБУДОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ОСВІТНІХ СИСТЕМ 997
Ройко Олександр Юрійович
ПОРІВНЯННЯ СТРУКТУРИ ШКІЛЬНОЇ ІНФОРМАТИКИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ВЕЛИКОЇ СІМКИ 1001
Саварин Павло Вікторович
Лобацький Андрій Олександрович
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У НАУЦІ ТА ОСВІТІ: СИНЕРГІЯ ІННОВАЦІЙ І РОЗВИТКУ 1003
Сидорук Людмила Миколаївна
Салтиков Богдан Геннадійович
АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ТА РОБОЧИХ ПЛАНІВ.....1007
Станько Володимир Юрійович
Пташник Вадим Вікторович
Желєзняк Алла Михайлівна
Станько Світлана Володимирівна
ІНТЕРАКТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХОНЬ У DESMOS ЯК ПРОПЕДЕВТИКА ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦІЇ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ 1011
Тулученко Галина Яківна
Чугунов Володимир Іванович
ПСИХОЛОГІЯ КОМАНДНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДАЧА ВВНЗ В ЕПОХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....1015
Хміляр Олег Федорович
Малафєєв Олег Сергійович
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН МАТЕМАТИЧНОГО ЦИКЛУ 1019
Чубенко Анастасія Михайлівна
ВИКОРИСТАННЯ AI-ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТУ 1022
Шевченко Ілона Володимирівна
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ 1026
Шуляк Андрій Сергійович
ЗАРУБІЖНІ ПРАКТИКИ ІНТЕГРАЦІЇ ВЕБДОСТУПНОСТІ У ЦИФРОВЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ 1030
Юрійчук Анастасія Олександрівна
GAME-BASED LEARNING AS A METHOD OF DEVELOPING PROFESSIONAL COMPETENCIES IN HIGHER EDUCATION 1034
Koval Yevhen
Renska Indira
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE EDUCATION WITHIN MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES: FROM THEORY TO PRACTICE.....1038
Shandra Nataliya Andriivna
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR DIAGNOSING AND COMPENSATING FOR LEARNING LOSS 1041
Hao Zhou

СЕКЦІЯ 8. ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ
SECTION 8. DIGITAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE INDUSTRIAL DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE ASSESSMENT

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ У КОМЕРЦІЙНОМУ ВЕБСАЙТІ КОСМЕТИЧНОЇ ТЕМАТИКИ (НА ПРИКЛАДІ ВЕБСАЙТУ БРЕНДУ «LUMÉ») 1046
Антончик Маргарита Миколаївна
Неділько Ольга Володимирівна

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ 1050
Башинська Юлія Іванівна

ОСОБЛИВОСТІ UI/UX-ДИЗАЙНУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ПРО ТВАРИН 1055
Воронко Тимофій Ігорович
Неділько Ольга Володимирівна

РОЗРОБКА НОВОГО ПРОДУКТУ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0-5.0 1058
Корогодова Олена Олександрівна

ІНТЕГРАЦІЯ ШІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ СТАЛОГО ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕЛЕКТУ 1062
Лук'янчук Юрій Анатолійович
Тулашвілі Юрій Йосипович

КВАРЦОВІ МЕХАНОТРОННІ СЕНСОРИ ТИСКУ У ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕМОДИНАМІКИ ЛЮДИНИ 1066
Підченко Сергій Костянтинович
Хуторненко Сергій Володимирович
Акулинічев Артем Аркадійович

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСУ ПІДБОРУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ТА ІНВЕРТОРІВ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ УКРАЇНИ 1070
Тищенко Сергій Анатолійович
Сагайда Павло Іванович

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRO-SYSTEMS AND LIFECYCLE TRANSPARENCY 1074
Chaika Tetiana Oleksandrivna

COMPARATIVE ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION SERVICES EXPORTS AS A FACTOR OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN UKRAINE AND THE EU 1078
Norik Larisa Oleksiivna

DESIGN OF AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR HEALTH MONITORING BASED ON CLIENT-SERVER ARCHITECTURE 1082
Luís Frölén Ribeiro
Boiko Lev Stepanovych
Solokha Nataliia Serhiivna

Секція 1. Комп’ютерні науки та системний аналіз

Section 1. Computer Science and Systems Analysis

ПРОЄКТУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ТА ЖЕСТІВ ЛЮДИНИ

Андрійчук Тарас Володимирович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, andriichuktaras2005@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

DESIGN OF A NEURAL NETWORK FOR RECOGNISING HUMAN EMOTIONS AND GESTURES

Andriichuk Taras
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, andriichuktaras2005@gmail.com
Sachuk Viktoria
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper presents a complex neural network system for real-time recognition of human emotions, gender, age and hand gestures. The architecture combines convolutional neural networks (CNNs) for facial expression analysis and keypoint extraction using MediaPipe for robust gesture classification. This approach ensures high accuracy and computational efficiency, overcoming background noise and variable lighting. The developed solution significantly enhances natural human-computer interaction.

Keywords: neural networks, gesture recognition, emotion detection, human-computer interaction, computer vision, gender recognition, age estimation, MediaPipe.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток систем людино-машинної взаємодії (Human-Computer Interaction, HCI) вимагає створення природних та інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів. Невербальна комунікація, зокрема емоції обличчя та жести рук, становить значну частину інформаційного обміну. Тому розробка ефективних нейромережевих моделей для автоматичного

розпізнавання цих сигналів у режимі реального часу є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи полягає у розробці комплексної нейромережевої системи, здатної одночасно класифікувати емоційний стан людини та розпізнавати статичні і динамічні жести рук на основі відеопотоку.

Матеріали та методи. Для реалізації поставленої мети архітектуру системи було розділено на дві паралельні моделі обробки даних, що підвищує надійність сервісу. Перша модель відповідає за аналіз емоцій: вона використовує алгоритми детекції обличчя з подальшою передачею виділеного регіону інтересу (ROI) до згорткової нейронної мережі (CNN) (рис.1). Мережа класифікує емоції за базовими категоріями: радість, сум, здивування, гнів тощо.

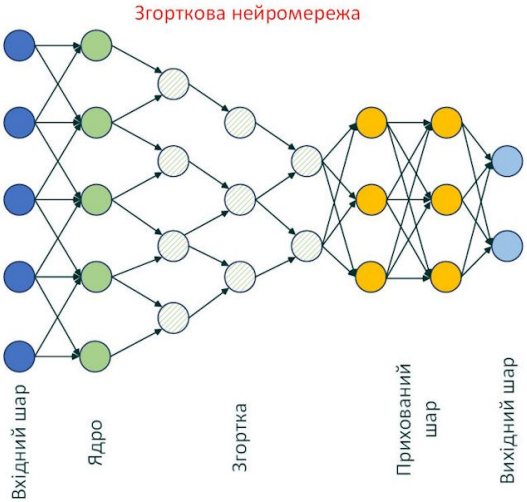


Рисунок 1. Візуальне зображення CNN мережі [1]

Окрім аналізу емоційного стану, до першої моделі було розширено додатковими модулями для автоматичного визначення статі та віку користувача. Після успішної локалізації обличчя за допомогою каскадів Хаара, виділений регіон інтересу (ROI) піддається попередній обробці: зміні розміру до 64x64 пікселів, нормалізації інтенсивності пікселів та вирівнюванню.

Для розпізнавання статі застосовується згорткова нейронна

мережа, що виконує задачу бінарної класифікації, аналізуючи характерні морфологічні ознаки. Модуль оцінки віку реалізовано на базі архітектури CNN, що працює в режимі регресії або багато класової класифікації, де мережа виявляє текстурні особливості шкіри та антропометричні зміни, притаманні різним віковим групам. Такий комплексний аналіз обличчя дозволяє системі за один прохід конвеєра сформувати детальний соціально-психологічний портрет користувача.

Друга модель орієнтований на розпізнавання жестів. З метою подолання проблем, пов'язаних із зміною освітлення та складним фоном, замість прямої класифікації пікселів зображення було застосовано підхід на основі виділення ключових точок (landmarks) за допомогою фреймворку комп'ютерного зору. Видобуті просторові координати суглобів кисті нормалізуються та подаються на вхід повнозв'язної нейронної мережі типу багатошаровий перцептрон (MLP). Це дозволяє значно знизити обчислювальну складність та підвищити стійкість моделі до доменного зсуву.

Результати. У ході дослідження було розроблено програмний прототип мовою Python з використанням сучасних бібліотек машинного навчання (TensorFlow/Keras, OpenCV). Проведено збір власного набору даних просторових координат для специфічних жестів керування. Результати тестування продемонстрували високу точність класифікації. Тестування модулів першої моделі на валідаційних вибірках показало стійкі результати: точність визначення статі досягла 90%, а середньоквадратична помилка (MAE) при оцінці віку склала близько 6.7 років, що є прийнятним показником для систем реального часу. Інтеграція цих моделей не призвела до значного зниження частоти кадрів (FPS), оскільки використання спільного етапу детекції обличчя дозволяє паралельно обробляти декілька ознак для одного виділеного фрагмента зображення. Модель розпізнавання емоцій досягла 63% точності. Для другої моделі розпізнавання жестів тестування продемонструвала високу точність понад 90%.

Попри те, що на перший погляд цей показник може здатися

не надто високим, для задачі класифікації емоцій він є абсолютно закономірним. Високої точності в таких системах досягти дуже складно через велику кількість можливих варіацій міміки й суб'єктивних проявів емоцій, які змінюються у різних людей та в різних умовах. Модель демонструє стабільні результати, адекватно розпізнає основні емоційні стани та показує впевнене узагальнення на нових прикладах, що підтверджує правильність обраного підходу до навчання. Швидкість обробки понад 30 кадрів на секунду на стандартному апаратному забезпеченні без використання спеціалізованих графічних прискорювачів. Використання автоматизованого моніторингу процесів розпізнавання дозволяє оптимізувати навантаження на систему.

Висновки. Запропонований підхід, що комбінує згорткові мережі для аналізу текстур обличчя та аналіз графових структур ключових точок для жестів, довів свою ефективність. Розроблена нейромережа може бути інтегрована в системи "розумного дому", медичні діагностичні комплекси, а також використана для створення без бар'єрного середовища для людей з обмеженими можливостями. Подальші дослідження будуть спрямовані на розпізнавання складних динамічних послідовностей жестів.

Список використаних джерел

1. Принципи побудови нейронних мереж – URL: https://itmaster.biz.ua/programming/vision/neural-networks-principles.html (дата звернення: 02.04.2026).

2. Haar Cascade Classifiers for Face Detection – URL: https://docs.opencv.org/3.4/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html (дата звернення: 07.04.2026).

3. Довідник по Machine Learning – Convolutional Neural Network | База знань IT – URL: https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/convolutional-neural-network (дата звернення: 14.04.2026).

4. Навчання нейромережі класифікації зображень – URL: https://itmaster.biz.ua/programming/vision/ne-study-classification.html (дата звернення: 18.04.2026).

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ БРОНЮВАННЯ КВИТКІВ У КІНОТЕАТРІ

Антонюк Олександр Іванович
Луцький національний технічний університет, студент,
alex.antonyuk@outlook.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

RESEARCH ON METHODS FOR DEVELOPING A WEB-BASED TICKET BOOKING SYSTEM FOR CINEMAS

Antoniuk Oleksandr
Lutsk National Technical University,
student,alex.antonyuk@outlook.com
Sachuk Viktoriia
Lutsk National Technical University, Assistant Professor, Department of Computer Science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

This paper presents a modern web-based platform for online cinema ticket booking built using a React and TypeScript technology stack. The system enables users to browse movie schedules, select seats, and purchase tickets through a modular architecture with efficient state management and real-time data validation. Interactive user interface components and responsive design enhance usability and user experience, while optimized client-side data handling ensures high performance and scalability.

The platform also supports dynamic updates of session data and provides a convenient and intuitive booking process.

Сучасний розвиток інформаційних технологій суттєво трансформує сферу розваг, зокрема підходи до організації та придбання квитків у кінотеатр. Перехід від традиційних кас до цифрових сервісів сприяє підвищенню зручності для користувачів та оптимізації бізнес-процесів [1]. Зростання популярності веб-застосунків відкриває нові можливості для

створення доступних платформ бронювання, які не потребують встановлення та можуть функціонувати у будь-якому браузері [2]. Особливо актуальним це є для молоді та студентів, які активно користуються онлайн-сервісами та очікують швидкого і зручного доступу до послуг [3].

Аналіз сучасного ринку показує, що більшість сервісів бронювання орієнтовані на мобільні додатки або інтегровані у великі екосистеми, що може обмежувати їх гнучкість та доступність [4]. Водночас веб-технології дозволяють створювати універсальні рішення, які поєднують кросплатформеність, високу продуктивність та простоту використання [1]. Перспективним напрямом є розробка інтерфейсів із високим рівнем інтерактивності, що дозволяють користувачам у реальному часі переглядати розклад сеансів, обирати місця у залі та здійснювати бронювання [2].

Технічна реалізація запропонованої системи базується на використанні бібліотеки React, яка забезпечує компонентний підхід до побудови інтерфейсу та ефективне оновлення DOM [5]. Застосування TypeScript дозволяє підвищити надійність програмного коду за рахунок статичної типізації та раннього виявлення помилок [6]. Для організації середовища розробки використано Vite, що забезпечує швидку компіляцію та миттєве оновлення застосунку під час розробки [7].

Архітектура застосунку передбачає розділення логіки на незалежні модулі, що спрощує масштабування та тестування [5]. Для керування станом та асинхронними запитами використовується TanStack Query, який забезпечує кешування, автоматичне оновлення даних та оптимізацію мережевих запитів [8]. Навігація між сторінками реалізована за допомогою react-router-dom, що дозволяє створювати багатосторінкові інтерфейси без перезавантаження сторінки [9].

Візуальне оформлення системи реалізоване із застосуванням Tailwind CSS, що дозволяє швидко створювати адаптивний інтерфейс із мінімальними витратами часу [10]. Використання додаткових інструментів екосистеми забезпечує підтримку сучасних браузерів та можливість реалізації анімаційних ефектів.

Для покращення користувацького досвіду застосовано бібліотеку Framer Motion, яка дозволяє створювати плавні переходи між станами інтерфейсу [11].

Функціональна частина системи передбачає перегляд афіші фільмів, розкладу сеансів, вибір місць у залі та оформлення бронювання. Валідація введених даних (наприклад, контактної інформації користувача) здійснюється в режимі реального часу, що зменшує кількість помилок та підвищує якість обслуговування [6]. Для забезпечення багатомовності використано бібліотеки i18next та react-i18next, що дозволяє адаптувати платформу для різних категорій користувачів [12].

Особливу увагу приділено візуалізації структури залу та доступних місць, а також відображенню актуальної інформації про сеанси. Для відображення статистичних або аналітичних даних може використовуватися бібліотека Chart.js у поєднанні з react-chartjs-2 [13].

Підсистема обробки даних забезпечує оновлення інформації про доступність місць у режимі реального часу, що дозволяє уникнути конфліктів бронювання. Інтерфейс організований таким чином, щоб користувач міг швидко знайти потрібний фільм і здійснити бронювання з мінімальною кількістю дій. Дизайн застосунку орієнтований на сучасні UI/UX підходи, включаючи адаптивність та темну тему [11].

Таким чином, результати дослідження демонструють ефективність використання сучасних веб-технологій для створення платформ онлайн-бронювання квитків. Запропонований підхід забезпечує зручність користування, масштабованість та можливість інтеграції з платіжними системами та іншими сервісами у майбутньому [1].

Список використаних джерел

1. Digital transformation in entertainment industry. Deloitte. URL:https://www2.deloitte.com/ (дата звернення: 14.04.2026).

2. Web applications architecture and usability. ScienceDirect. URL:https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/web-application (дата звернення: 14.04.2026).

3. Youth and digital services usage. PLOS Digital Health. URL: https://journals.plos.org/digitalhealth/ (дата звернення: 14.04.2026).

4. Online booking systems and limitations. PubMed. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/ (дата звернення: 14.04.2026).

5. React documentation. React. URL: https://react.dev/ (дата звернення: 14.04.2026).

6. TypeScript documentation. TypeScript. URL: https://www.typescriptlang.org/docs/ (дата звернення: 14.04.2026).

7. Vite guide. Vite. URL:https://vitejs.dev/guide/ (дата звернення: 14.04.2026).

8. TanStack Query documentation. TanStack. URL: https://tanstack.com/query/latest (дата звернення: 14.04.2026).

9. React Router documentation. React Router. URL: https://reactrouter.com/ (дата звернення: 14.04.2026).

10. Tailwind CSS documentation. Tailwind CSS. URL: https://tailwindcss.com/docs (дата звернення: 14.04.2026).

11. Framer Motion documentation. Framer. URL: https://www.framer.com/motion/ (дата звернення: 14.04.2026).

12. i18next documentation. i18next. URL: https://www.i18next.com/ (дата звернення: 14.04.2026).

13. Chart.js documentation.Chart.js. URL: https://www.chartjs.org/docs/ (дата звернення: 14.04.2026).

ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-МАГАЗИНУ КОМПЮТЕРНОЇ ПЕРИФЕРІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ

Анісян Рустам Арменович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, rustamanisian009@gmail.com
Хиць Руслан Андрійович
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, ruslanioc@lntu.edu.ua

DESIGN OF A WEB STORE FOR COMPUTER PERIPHERALS AND EQUIPMENT

Anisian Rustam
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, rustamanisian009@gmail.com
Khits Ruslan
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, ruslanioc@lntu.edu.ua

The article presents the development of a web store of computer peripherals and equipment designed for convenient viewing, searching and selecting products in an e-commerce environment. The architecture of the web application combines modern client development tools to build a clear interface, adaptive design and effective user interaction with the product catalog. The implemented solution provides quick search for products, filtering by basic parameters, viewing detailed information about products and working with the cart. The proposed approach increases the convenience of online shopping and can be the basis for the further development of a full-fledged online store.

Keywords: web store, computer peripherals, computer equipment, e-commerce, web application, product catalog, adaptive design, product search, filtering, cart.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток електронної комерції вимагає створення зручних, функціональних та адаптивних вебресурсів, які забезпечують ефективну взаємодію

користувача з каталогом товарів. Особливо актуальним це є для сфери продажу комп'ютерної периферії та обладнання, де покупець працює з великою кількістю товарних категорій, технічних характеристик, цінових діапазонів і брендів. Тому розробка вебмагазину, який поєднує зрозумілий інтерфейс, швидкий пошук, фільтрацію та зручну навігацію, є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи полягає у розробці вебмагазину комп'ютерної периферії і обладнання, здатного забезпечити зручний перегляд товарів, швидкий пошук потрібної продукції, фільтрацію за основними параметрами, перегляд детальної інформації про товар і роботу з кошиком.

Матеріали та методи. Для реалізації поставленої мети структуру вебзастосунку було поділено на кілька основних функціональних модулів, що забезпечують логічну організацію роботи системи (рис.1). Перший модуль відповідає за головну сторінку та загальну навігацію сайтом. Він містить основні елементи інтерфейсу, зокрема логотип, меню, блоки категорій, популярні товари та засоби переходу до каталогу.

Рисунок 1. Архітектура вебзастосунку інтернет-магазину

Другий модуль орієнтований на роботу з каталогом товарів. У ньому реалізовано механізми пошуку, фільтрації, сортування та пагінації, що дозволяють користувачу швидко знаходити потрібну продукцію серед великої кількості позицій. Для представлення товарів використано картки, які містять основні відомості про продукцію: назву, категорію, ціну, зображення та кнопку додавання до кошика.

Окрему увагу приділено сторінці товару, де користувач може переглянути детальну інформацію про конкретну позицію, зокрема опис, характеристики, ціну та зображення. Для збереження вибраних товарів реалізовано модуль кошика, що забезпечує перегляд доданих позицій і подальшу взаємодію з ними.

Для практичної реалізації вебмагазину використано сучасні засоби фронтенд-розробки: HTML для побудови структури сторінок, CSS для стилізації та адаптивного дизайну, JavaScript для реалізації інтерактивної поведінки елементів інтерфейсу. Такий підхід дозволяє створити функціональний клієнтський вебзастосунок без надмірного ускладнення архітектури.

Результати. У ході дослідження було розроблено функціональний прототип вебмагазину комп'ютерної периферії і обладнання. Реалізовано головну сторінку, каталог товарів, сторінку окремого товару та кошик. У каталозі забезпечено можливість пошуку товарів за назвою, фільтрації за категоріями, брендами та ціною, а також сортування та посторінкового перегляду списку продукції.

Результати тестування продемонстрували коректну роботу основних модулів системи. Було підтверджено правильність відображення товарних карток, стабільну роботу пошуку та фільтрації, коректний перехід між сторінками, зручність додавання товарів до кошика та належне функціонування адаптивного інтерфейсу на різних типах пристроїв. Проведене налагодження дозволило усунути недоліки, пов'язані з вирівнюванням елементів інтерфейсу, адаптацією карток товарів і логікою повернення до каталогу.

Розроблений вебмагазин забезпечує швидку взаємодію користувача з системою та формує зручне середовище для онлайн-перегляду й вибору комп'ютерної техніки та периферії.

Висновки. Запропонований підхід до розробки вебмагазину комп'ютерної периферії і обладнання довів свою ефективність. Реалізоване рішення поєднує зручний інтерфейс, зрозумілу структуру сторінок, засоби пошуку, фільтрації, сортування, пагінації та роботи з кошиком. Створений вебзастосунок може бути використаний як основа для подальшого розвитку повноцінної системи електронної комерції з підключенням серверної частини, бази даних, авторизації користувачів, оформлення замовлень та адміністративної панелі.

Список використаних джерел

1. HTML: HyperText Markup Language MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML (дата звернення: 02.04.2026).

2. CSS: Cascading Style Sheets MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS (дата звернення: 07.04.2026).

3. JavaScript Guide MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide (дата звернення: 14.04.2026).

4. Web Storage API MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Storage_API (дата звернення: 18.04.2026).

5. Window: localStorage property MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Window/localStorage (дата звернення: 20.04.2026).

МЕТАЕВРИСТИЧНІ ТА ГІБРИДНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

Балейко Артем Сергійович
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, аспірант, artembaleyko@gmail.com
Михальчук Ганна Йосипівна
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри ІПЗ та ІТ,
ai.mikhalchuk@gmail.com

METAHEURISTIC AND HYBRID APPROACHES TO SOLVING THE GENERALIZED ASSIGNMENT PROBLEM

Artem Baleyko
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, postgraduate student, artembaleyko@gmail.com
Hanna Mykhalchuk
Oles Honchar Dnipro National University, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Information Technologies, ai.mikhalchuk@gmail.com

This paper reviews metaheuristic and hybrid approaches for solving the Generalized Assignment Problem (GAP). The main classes of algorithms and their advantages over exact methods are analyzed. It is shown that for large-scale problems, metaheuristics provide high-quality solutions within reasonable computational time.

Keywords: generalized assignment problem, heuristic algorithms, metaheuristics, tabu search, genetic algorithms, combinatorial optimization.

Узагальнена задача про призначення (Generalized assignment problem, GAP) є NP-складною задачею комбінаторної оптимізації, що широко застосовується у плануванні виробництва, логістиці та розподілі ресурсів. Зі зростанням розмірності задачі застосування точних методів стає обчислювально складним, що

обумовлює актуальність використання евристичних і метаевристичних підходів.

Одним із найбільш досліджених підходів до розв'язання GAP є табу-пошук (Tabu Search). У роботі [1] запропоновано алгоритм табу-пошуку, який використовує механізми коротко- та довгострокової пам'яті для керування процесом пошуку. Автори показали, що такий підхід дозволяє отримувати рішення високої якості за конкурентний час. Подальший розвиток цього підходу представлено у роботі [2], де введено динамічну довжину табу-списку та механізми довгострокової пам'яті, що підвищують ефективність пошуку на стандартних тестових наборах.

Для задач великої розмірності було запропоновано модифікації табу-пошуку з адаптивними стратегіями. Зокрема, у роботі [3] показано, що такі алгоритми здатні знаходити оптимальні або близькі до оптимальних рішення навіть для задач із десятками тисяч змінних за дуже короткий час.

Іншим важливим напрямом є еволюційні та генетичні алгоритми. У класичній роботі [4] генетичні алгоритми застосовуються для пошуку глобального оптимуму шляхом комбінування рішень. Вони демонструють високу гнучкість і здатність досліджувати великий простір рішень, особливо у випадках складних обмежень.

Окрім цього, досліджуються й інші метаевристики, такі як диференціальна еволюція, мурашині алгоритми та гібридні підходи. Зокрема, у роботі [5] запропоновано алгоритм на основі диференціальної еволюції (Differential Evolution, DE), доповнений локальними пошуковими процедурами (зсув, обмін, k-переміщення). Експериментальні результати показали, що така комбінація дозволяє отримувати рішення, конкурентні з найкращими відомими евристиками для GAP, що підтверджує ефективність поєднання глобального та локального пошуку.

Окрему увагу привертають гібридні методи, що поєднують точні та евристичні підходи. У роботі [6] запропоновано комбінування методу гілок і меж із табу-пошуком. Такий підхід дозволяє використовувати точні методи для дослідження частини простору рішень і евристики для швидкого знаходження якісних

кандидатів, що значно підвищує ефективність алгоритму.

Точні методи, такі як змішане цілочисельне програмування та метод гілок і меж, гарантують знаходження глобального оптимуму. Проте їх застосування обмежується задачами малої та середньої розмірності через експоненційну складність.

На відміну від них, евристичні та метаевристичні алгоритми:

- не гарантують оптимальність розв'язку;
- забезпечують значно менший час обчислення;
- добре масштабуються на задачі великої розмірності;
- легко адаптуються до додаткових обмежень.

Як показано у [3], сучасні метаевристики здатні знаходити рішення з похибкою менш ніж 0.1% від оптимального навіть для великих задач, що робить їх практично придатними для реальних застосувань.

Важливою перевагою метаевристичних підходів є можливість їх адаптації до специфіки прикладної задачі. У реальних виробничих системах [7] часто виникає необхідність врахування додаткових обмежень, таких як часові вікна виконання операцій, пріоритетність замовлень, переналагодження обладнання, обмеження на партії продукції та випадкові зміни попиту. Включення таких умов до точних математичних моделей зазвичай призводить до суттєвого зростання обчислювальної складності. Натомість метаевристичні алгоритми дають змогу відносно просто змінювати критерії оцінювання рішень і налаштовувати механізми пошуку відповідно до особливостей конкретної задачі, що робить їх ефективним інструментом для побудови практичних систем підтримки прийняття рішень.

Проведений огляд показав, що евристичні та метаевристичні методи є ефективним інструментом розв'язання узагальненої задачі про призначення, особливо у випадках великої розмірності задачі. Найбільш перспективними є гібридні підходи, які поєднують переваги точних і наближених методів.

Для практичних задач виробничого планування, зокрема для задачі планування етапів виробництва [7], доцільно

використовувати саме метаевристики, оскільки вони дозволяють отримувати якісні рішення у прийнятний час, що є критичним для систем підтримки прийняття рішень.

Список використаних джерел

1. Díaz J. A., Fernández E. A Tabu search heuristic for the generalized assignment problem. European Journal of Operational Research. 2001. Т. 132, № 1. С. 22–38. URL: https://doi.org/10.1016/s0377-2217(00)00108-9

2. Wu T.-H., Yeh J.-Y., Syau Y.-R. A Tabu search approach to the generalized assignment problem. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 2004. Т. 21, № 3. С. 301–311. URL: https://doi.org/10.1080/10170660409509411

3. Higgins A. J. A dynamic tabu search for large-scale generalised assignment problems. Computers & Operations Research. 2001. Т. 28, № 10. С. 1039–1048. URL: https://doi.org/10.1016/s0305-0548(00)00024-1

4. Chu P. C., Beasley J. E. A genetic algorithm for the generalised assignment problem. Computers & Operations Research. 1997. Т. 24, № 1. С. 17–23. URL: https://doi.org/10.1016/s0305-0548(96)00032-9

5. Sethanan K., Pitakaso R. Improved differential evolution algorithms for solving generalized assignment problem. Expert Systems with Applications. 2016. Т. 45. С. 450–459. URL: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.009

6. Woodcock A. J., Wilson J. M. A hybrid tabu search/branch & bound approach to solving the generalized assignment problem. European Journal of Operational Research. 2010. Т. 207, № 2. С. 566–578. URL: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.007

7. Балейко А. С., Михальчук Г. Й. Математична модель задачі планування етапів виробництва на основі узагальненої задачі про призначення. Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. 2025. Т. 29. С. 53–61. URL: http://dx.doi.org/10.15421/432505

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ПРИ ЇХ ПРОЄКТУВАННІ

Ванда Ігор Сергійович
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, аспірант кафедри інтелектуальних програмних систем і технологій, vanda.ihor@karazin.ua
Дядюн Сергій Васильович
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних програмних систем і технологій, s.v.dyadun@karazin.ua

CHOICE OF RATIONAL TOPOLOGY OF WATER NETWORKS DURING THEIR DESIGN

Vanda Ihor Serhiiovych
V. N. Karazin Kharkiv National University, PhD Student at the Department of Intelligent Software Systems and Technologies, vanda.ihor@karazin.ua
Dyadun Serhii Vasyliovych
V. N. Karazin Kharkiv National University, PhD on Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Intelligent Software Systems and Technologies, s.v.dyadun@karazin.ua

The paper proposes a framework for water distribution network topology rational design, prioritizing routing over sizing. It integrates a Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) for initialization with an Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) core. Using iterative destruction and reconstruction operators, the approach navigates the trade-off between capital investment and structural redundancy, ensuring a structured balance between economic efficiency and operational reliability.

Keywords: water distribution networks, topology design, large neighborhood search, optimization, graph theory.

Розглядається задача ефективного трасування водопровідних мереж, тобто раціонального визначення структури зв'язків між споживачами і джерелами живлення для

різних режимів роботи мережі, включаючи аварійні. Процес автоматизованого проєктування водопровідних мереж поділяється на два послідовні етапи: топологічне проєктування (синтез структури маршрутів) та призначення конструктивних параметрів (вибір стандартних типорозмірів труб). Перший етап має вищий рівень пріоритетності, оскільки конфігурація маршрутів формує базову капітальну вартість інфраструктури та визначає межі її гідравлічного потенціалу. Неефективна топологія накладає структурні обмеження, які суттєво звужують простір ефективних рішень на наступному етапі вибору діаметрів, і не можуть бути повністю усунені жодним алгоритмом гідравлічної оптимізації.

Задачу топологічного проєктування формалізовано на основі суперграфа потенційних маршрутів $G_s(V, E_s)$, де V – незмінна множина вузлів (джерела водопостачання та споживачі), а E_s – множина всіх фізично доступних трас. Алгоритмічна задача полягає у виборі підмножини ребер $E \subseteq E_s$, що формує підграф $G(V, E)$, який задовольняє наступну задачу оптимізації:

$$\min_{E \subseteq E_s} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} \cdot L_{ij}$$

де c_{ij} – питома вартість труби (i, j), L_{ij} – довжина труби (i, j), при обмеженнях: (1) зв'язність графа $G(V, E)$; (2) виконання вимог наявності альтернативного, при видаленні будь-якого одного ребра мережа повинна зберігати зв'язність між джерелом та вузлами споживання.

Фундаментальна проблема проєктування полягає у знаходженні раціонального рішення між вартістю об'єкта та його експлуатаційною стійкістю. При фіксованих гідравлічних параметрах нижньою оцінкою капітальних витрат є мінімальне кістякове дерево суперграфа; проте така деревоподібна структура не забезпечує необхідного рівня надійності через відсутність альтернативних шляхів. Забезпечення структурної резервованості вимагає введення замкнених контурів, що потребує переходу від деревоподібних структур до мереж із контурами. Задача мінімізації капітальних витрат при одночасному виконанні обмежень

зв'язності та резервованості такого виду належить до класу NP-складних задач, що зумовлює необхідність застосування спеціалізованих метаевристик. Саме ця обставина визначає вибір дворівневої архітектури: перша фаза забезпечує різноманітність початкових рішень, тоді як друга фаза ефективно досліджує локальні околи без повної перебудови графа.

Запропонований метод інтегрує GRASP [1] та ALNS [2]. На першому етапі топології генеруються ітеративним додаванням ребер із суперграфа: на кожному кроці формується обмежений список ребер кандидатів, з якого стохастично обирається елемент. Багаторазове виконання цієї процедури з різними параметрами жадібності формує пул різноманітних, але топологічно коректних початкових рішень для подальшого аналізу. На другому етапі ALNS виконує локальні модифікації поточного рішення: оператори деструкції вилучають ребра за критеріями вартості та метрикою центральності ребер, оператори реконструкції відновлюють зв'язність і резервованість через алгоритми пошуку шляху та механізм замикання контурів. Вибір пари операторів здійснюється на основі накопичених показників успіх. На відміну від підходів спільної оптимізації, запропонована ієрархічна архітектура дозволяє застосовувати спеціалізовані ядра для кожної підзадачі.

Ефективність підходу оцінюється за вартістю знайдених рішень, ступенем виконання вимог резервованості та обчислювальними витратами на тестових задачах з відомими оптимальними рішеннями. Очікується значна економія матеріалів на практиці при проєктуванні реальних водопровідних мереж.

Список використаних джерел

1. Feo, T. A., & Resende, M. G. C. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. Journal of Global Optimization, 6(2), 109–133. https://doi.org/10.1007/BF01096763

2. Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. Transportation Science, 40(4), 455–472. https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135

АРХІТЕКТУРНІ АСПЕКТИ ВИКОНАННЯ ПРОГРАМ МОВАМИ C++, JAVA, C# ТА PYTHON

Галагуз Тетяна Олександрівна
Рівненський державний гуманітарний університет, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Комп'ютерні науки», zadnuykot16@gmail.com
Ляшук Тарас Григорович
Рівненський державний гуманітарний університет, старший викладач кафедри інформаційних технологій та моделювання, кандидат фізико-математичних наук, taras.liashuk@rshu.edu.ua

ARCHITECTURAL ASPECTS OF PROGRAM EXECUTION IN C++, JAVA, C# AND PYTHON

Halahuz Tetiana Oleksandrivna
Rivne State University of the Humanities, Bachelor's Degree Applicant in Computer Science, zadnuykot16@gmail.com
Liashuk Taras Hryhorovych
Rivne State University of the Humanities, Senior Lecturer at the Department of Information Technology and Modeling, Ph.D. in Physics and Mathematics, taras.liashuk@rshu.edu.ua

The paper examines the influence of execution environments on the performance of programs implemented in C++, Java, C# and Python. Architectural features of native compilation, JIT compilation and interpreted execution are analyzed, as well as their impact on computational efficiency, memory management and interaction with operating system resources. Theoretical prerequisites for comparative analysis of CPU-bound, I/O-bound and system-level tasks on different hardware and software platforms are considered.

Keywords: benchmarking, execution environment, JVM, CLR, native compilation, program performance, CPU-bound, I/O-bound.

Сучасні програмні системи функціонують у середовищах із суттєво відмінними моделями виконання коду, управління пам'яттю та взаємодії з апаратними ресурсами. У зв'язку з цим питання аналізу продуктивності мов програмування набуває

особливої актуальності при проєктуванні високонавантажених, системно-орієнтованих та обчислювально складних програмних рішень. Вибір мови програмування сьогодні визначається не лише зручністю розробки, але й особливостями програмно-апаратного стеку виконання, ефективністю використання процесорного часу, пам'яті та механізмів введення-виведення.

Мови програмування C++, Java, C# та Python представляють різні концептуальні підходи до виконання програмного коду. Мова C++ базується на моделі нативної компіляції, при якій вихідний код безпосередньо транслюється у машинні інструкції конкретної апаратної архітектури [1]. Такий підхід мінімізує накладні витрати під час виконання та забезпечує прямий доступ до системних ресурсів, механізмів керування пам'яттю і низькорівневих API операційної системи. Водночас висока продуктивність досягається ціною складнішого управління життєвим циклом об'єктів, необхідності ручного контролю пам'яті та підвищених вимог до безпеки виконання.

На відміну від нативних компільованих систем, середовища Java Virtual Machine (JVM) [2] та Common Language Runtime (CLR) [3] реалізують багаторівневу модель виконання через проміжний байт-код. Початково програма транслюється у проміжний код, після чого виконується динамічна JIT-компіляція (Just-In-Time Compilation), що дозволяє адаптувати машинний код до поточних характеристик апаратної платформи безпосередньо під час виконання. Такий підхід забезпечує платформонезалежність і дозволяє середовищу виконання здійснювати автоматичні оптимізації: інлайнінг методів, оптимізацію циклів, спекулятивне виконання та профілювання гарячих ділянок коду.

Важливим компонентом JVM та CLR є автоматизовані механізми управління пам'яттю – Garbage Collector. На відміну від C++, де управління пам'яттю значною мірою покладається на програміста, віртуальні машини динамічно аналізують граф об'єктів та автоматично вивільняють невикористовувані ресурси. Така модель суттєво спрощує розробку великих систем, однак створює додаткові накладні витрати, пов'язані з паузами збирача

сміття, переміщенням об’єктів у heap-пам’яті та необхідністю постійного моніторингу алокацій.

Особливу категорію становить Python, архітектура якого базується переважно на інтерпретованому виконанні байт-коду у середовищі CPython [2]. На відміну від JVM чи CLR, стандартний Python не використовує повноцінну JIT-компіляцію, а більшість операцій виконується через високорівневі механізми динамічної типізації та універсальні об’єктні структури. Така модель забезпечує високу гнучкість, швидкість розробки та простоту інтеграції, проте призводить до суттєвих накладних витрат під час виконання CPU-bound задач через постійну перевірку типів, роботу інтерпретатора та використання універсальної моделі представлення даних.

З теоретичної точки зору можна передбачити, що найбільшу продуктивність при виконанні обчислювально інтенсивних задач демонструватимуть нативно-компільовані програми на C++, оскільки вони мінімізують рівень абстракції між програмним кодом та апаратними ресурсами процесора. Водночас Java та C# потенційно здатні демонструвати близькі результати завдяки сучасним JIT-оптимізаціям, особливо при тривалому виконанні програм, коли середовище встигає здійснити профілювання та оптимізацію гарячих ділянок коду.

Для задач введення-виведення та системної взаємодії суттєвий вплив матимуть не лише особливості мови програмування, але й архітектура відповідного runtime-середовища, механізми буферизації, моделі потокового виконання та особливості системних викликів операційної системи. Крім того, значний вплив на результати можуть чинити характеристики апаратної платформи: обсяг кеш-пам’яті процесора, швидкість оперативної пам’яті, тип накопичувача даних та особливості планувальника операційної системи.

Таким чином, порівняльний аналіз продуктивності мов програмування повинен розглядатися як комплексна багаторівнева задача, у якій продуктивність визначається не лише синтаксичними або алгоритмічними особливостями мов, але й архітектурою середовищ виконання, моделями управління

ресурсами та характеристиками апаратно-програмної платформи.

Список використаних джерел

1. Meyers, S. (2005). Effective C++: 55 Specific Ways to Improve Your Programs and Designs (3rd ed.). Addison-Wesley Professional. Retrieved from https://dl.acm.org/doi/10.5555/1051335#cited-by-sec.

2. Kanegi, T. (2005). Real-Time Payments Engineering with Python and Java: A Comprehensive Guide: ISO 20022, Settlement Systems, Fraud Controls, and Ledger Architecture. Reactive Publishing. Retrieved from https://www.amazon.com/Real-Time-Payments-Engineering-Python-Java-ebook/dp/B0GYMN4P6H?ref_=Oct_d_onr_d_285856_0&pd_rd_w=RKdI0&content-id=amzn1.sym.ef6f06ea-36e0-4e0f-9535-627c4ba3aa58&pf_rd_p=ef6f06ea-36e0-4e0f-9535-627c4ba3aa58&pf_rd_r=B0V3KCCHXCMXGX0Q0QYH&pd_rd_wg=8btUY&pd_rd_r=cacd48bf-31c5-4e64-90e6-93b50cb8117d&pd_rd_i=B0GYMN4P6H.

3. Whitaker, RB. (2005). The C# Player's Guide (5th ed.). Starbound Software. Retrieved from https://www.abebooks.com/9780985580155/C%23-Players-Guide-5th-Edition-0985580151/plp.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА ЕЛЕКТРОННИХ МЕДИЧНИХ ЗАПИСІВ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ КЛІНІЧНИХ РІШЕНЬ

Герасимчук Андрій Олегович
Луцький національний технічний університет, здобувач третього рівня вищої освіти спеціальності F2 «Інженерія програмного забезпечення», гр. ІПЗд-11, herasymchuk.andrew@gmail.com
Герасимчук Галина Андріївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент, декан факультету цифрових, освітніх та соціальних технологій, h.herasimchuk@lntu.edu.ua

INTELLIGENT PROCESSING OF ELECTRONIC MEDICAL RECORDS IN CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS

Herasymchuk Andrii
Lutsk National Technical University, Ph.D student, F2 "Software Engineering", herasymchuk.andrew@gmail.com
Herasymchuk Halyna
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Digital, Educational and Social Technologies, h.herasimchuk@lntu.edu.ua

The paper investigates modern methods of intelligent processing of electronic medical records in clinical decision support systems. The advantages of machine learning, deep learning and transformer architectures are analyzed. Special attention is devoted to explainable artificial intelligence, data security and implementation prospects in the Ukrainian healthcare system.

Keywords: electronic medical records, machine learning, clinical decision support systems, transformers, explainable AI.

Електронні медичні записи (EMR) сьогодні є однією з ключових складових цифрової трансформації системи охорони здоров’я. Вони акумулюють великі обсяги структурованих та неструктурованих даних про пацієнтів, включаючи історії хвороб, результати лабораторних досліджень, медичні висновки,

призначення лікування та діагностичні зображення. Світовий ринок електронної медицини демонструє стабільне зростання завдяки розвитку цифрових сервісів, пандемії COVID-19 та активному впровадженню технологій штучного інтелекту [1].

Використання електронних медичних записів дозволяє не лише оптимізувати процеси зберігання інформації, але й створює основу для інтелектуального аналізу медичних даних. Однією з найбільш актуальних проблем сучасної медицини залишаються діагностичні помилки. За оцінками міжнародних організацій, частка неправильних або несвоєчасних діагнозів у первинній медичній допомозі може досягати 10–15 %, що негативно впливає на якість лікування та безпеку пацієнтів [1].

Для зниження кількості помилок активно розвиваються системи підтримки клінічних рішень (CDSS — Clinical Decision Support Systems), які використовують алгоритми штучного інтелекту для аналізу EMR та прогнозування ризиків. Перші подібні системи базувалися на правилах і експертних знаннях, однак з розвитком обчислювальних технологій почали застосовуватися статистичні методи та алгоритми машинного навчання.

Серед класичних методів машинного навчання найбільш поширеними є SVM, Random Forest та kNN. Метод опорних векторів забезпечує високу точність класифікації медичних записів навіть за наявності незбалансованих даних. Алгоритм Random Forest дозволяє ефективно працювати з нелінійними залежностями та прогнозувати ризики повторної госпіталізації пацієнтів. Дані методи характеризуються відносно невисокими витратами ресурсів і достатньою інтерпретованістю [2].

Після 2020 року особливого поширення набули методи глибокого навчання. Рекурентні нейронні мережі LSTM та GRU здатні аналізувати часові ряди медичних даних і прогнозувати зміни стану пацієнтів у режимі реального часу. Вони активно використовуються для раннього виявлення сепсису, оцінювання ризику ускладнень та моніторингу критичних станів.

Сучасним етапом розвитку систем інтелектуального аналізу є використання трансформерних архітектур. Моделі BERT,

ClinicalBERT та Med-BERT забезпечують високу якість аналізу клінічних текстів, автоматичне кодування діагнозів та обробку великих масивів медичної документації [3]. Глибоке навчання автоматично витягує ознаки з даних. LSTM та GRU ефективні для аналізу динаміки стану пацієнта, а трансформери забезпечують найвищу точність у задачах обробки тексту і демонструють високі значення метрик F1-score та AUROC.

Незважаючи на високу точність, більшість моделей глибокого навчання залишаються складними для інтерпретації. Для медичної сфери це є суттєвою проблемою, оскільки лікар повинен розуміти логіку формування прогнозу. Саме тому важливого значення набувають методи пояснюваного штучного інтелекту (XAI — Explainable Artificial Intelligence), зокрема SHAP та LIME [4]. Ці підходи дозволяють оцінити внесок окремих ознак у формування результату моделі.

Методи пояснюваного штучного інтелекту сприяють підвищенню довіри медичного персоналу до автоматизованих систем. Вони дозволяють виявляти потенційні помилки алгоритмів, аналізувати вплив лабораторних показників та забезпечувати прозорість роботи систем підтримки клінічних рішень. Поєднання нейронних мереж і XAI створює передумови для побудови безпечних та надійних медичних інформаційних систем.

В Україні важливим елементом цифрової медицини є система eHealth, у якій накопичено мільярди електронних медичних записів [5]. Проте значна частина цих даних використовується переважно для адміністрування, а не для інтелектуального аналізу. Основними проблемами залишаються недостатня стандартизація медичної документації, складність анонімізації даних та необхідність забезпечення конфіденційності відповідно до міжнародних вимог GDPR.

Додатковою проблемою є обмежена здатність багатьох моделей до узагальнення. Алгоритми, навчені на окремих локальних наборах даних, часто демонструють нижчу ефективність при використанні в інших медичних закладах. Це пов’язано з демографічними відмінностями, різними підходами

до ведення медичної документації та неоднорідністю даних.

Перспективним напрямом розвитку є використання федеративного навчання, яке дозволяє навчати моделі без передачі конфіденційних медичних даних між установами. Такий підхід забезпечує баланс між якістю моделей та безпекою персональної інформації пацієнтів. Крім того, важливим є використання трансферного навчання, що передбачає адаптацію міжнародних моделей до локальних даних eHealth та інших українських медичних реєстрів.

Таким чином, інтелектуальна обробка електронних медичних записів є перспективним напрямом розвитку сучасної медицини. Поєднання трансформерних моделей, методів пояснюваного штучного інтелекту та безпечної цифрової інфраструктури може суттєво підвищити якість медичних послуг, ефективність клінічних рішень та рівень безпеки пацієнтів.

Список використаних джерел

1. World Health Organization. Patient safety and diagnostic errors. Geneva: WHO, 2023.

2. Johnson A. et al. MIMIC-III, a freely accessible critical care database. Scientific Data. 2016. Vol. 3.

3. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. NAACL-HLT. 2019.

4. Lundberg S., Lee S. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. Advances in Neural Information Processing Systems. 2017.

5. Електронна система охорони здоров'я України eHealth: офіційний портал. URL: https://ehealth.gov.ua

АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ МАСШТАБОВАНОСТІ PYTHON-ДОДАТКІВ

Глинчук Людмила Ярославівна
Волинський національний університет імені Лесі Українки, к.ф.-м.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та кібербезпеки, lydmilaglin@ukr.net

ARCHITECTURAL APPROACHES TO ENSURING HORIZONTAL SCALABILITY OF PYTHON APPLICATIONS

Hlynchuk Liudmyla
Lesya Ukrainka Volyn National University, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Computer Science and Cybersecurity, lydmilaglin@ukr.net

The paper examines modern architectural approaches to ensuring the horizontal scalability of Python applications. Monolithic and microservices architectures, approaches to distributed load processing, and mechanisms of automatic scaling are analyzed. Particular attention is paid to the role of containerization, asynchronous programming, and adaptive scaling algorithms. A comparative analysis of the effectiveness of architectural solutions is carried out.

Keywords: Python, scalability, microservices, software architecture, horizontal scaling, asynchrony.

Сучасні програмні системи повинні ефективно обробляти значні обсяги запитів, що зумовлює необхідність забезпечення масштабованості. Для Python-додатків це завдання ускладнюється через особливості виконання коду та обмеження багатопоточності. У зв'язку з цим актуальним є дослідження архітектурних підходів, що дозволяють реалізувати горизонтальне масштабування систем.

Метою роботи є аналіз та узагальнення сучасних архітектурних підходів до забезпечення горизонтальної масштабованості Python-додатків та визначення їх ефективності

в умовах високих навантажень.

Розпочнемо з традиційної монолітної архітектури. Вона характеризується простотою реалізації, однак має обмежену здатність до масштабування через єдиний процес виконання. Як зазначено в [2], монолітні системи поступаються мікросервісним у контексті продуктивності та гнучкості масштабування.

Мікросервісна архітектура дозволяє розділити систему на незалежні компоненти, що можуть масштабуватися окремо. Це забезпечує ефективніше використання ресурсів і підвищує відмовостійкість [2], [4].

Горизонтальне масштабування передбачає додавання нових інстансів сервісу для розподілу навантаження. Основними механізмами є load balancing та реплікація сервісів.

У роботі [3] показано, що адаптивні алгоритми масштабування дозволяють динамічно змінювати кількість інстансів залежно від навантаження, що підвищує ефективність системи.

Контейнеризація забезпечує ізоляцію середовища виконання та спрощує масштабування додатків. Хоча Kubernetes є типовим інструментом оркестрації, ключовим є сам принцип розгортання незалежних контейнерів, що дозволяє реалізувати горизонтальне масштабування.

Асинхронні механізми (async/await, asyncio) дозволяють підвищити продуктивність обробки I/O-запитів без збільшення кількості потоків. Це особливо важливо для вебдодатків із великою кількістю одночасних запитів.

Сучасні дослідження демонструють використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування навантаження та автоматичного масштабування систем. У [3] описано підхід reinforcement learning для оптимізації масштабування мікросервісів, що дозволяє зменшити затримки та перевантаження.

Для узагальнення основних характеристик розглянутих архітектурних підходів до забезпечення горизонтальної масштабованості Python-додатків було сформовано порівняльну таблицю 1. У ній наведено ключові критерії оцінювання, які

дозволяють систематизувати переваги та обмеження кожного підходу для подальшого аналізу.

Таблиця 1. Порівняння архітектурних підходів до масштабованості Python-додатків

Архітектурний підхід	Масштабованість	Складність впровадження	Використання ресурсів	Особливості
Монолітна архітектура	Низька	Низька	Неефективне при зростанні	Єдиний процес виконання, простота розробки
Мікросервісна архітектура	Висока	Висока	Оптимальне розподілення	Розподіл на незалежні сервіси
Асинхронна архітектура (Python async)	Середня	Середня	Ефективне для I/O задач	Некомбінаційне виконання задач
Контейнеризована архітектура	Висока	Середня	Гнучке масштабування	Ізоляція сервісів (Docker)
Адаптивне масштабування (ML-підхід)	Дуже висока	Висока	Оптимізоване	Автоматичне прогнозування навантаження

Таблиця демонструє, що найбільш збалансованим підходом до забезпечення горизонтальної масштабованості є мікросервісна архітектура у поєднанні з контейнеризацією та асинхронним виконанням задач.

Порівняльний аналіз показав, що:

- монолітна архітектура є простою, але неефективною для

масштабування;

– мікросервісна архітектура забезпечує найкращу горизонтальну масштабованість;

– асинхронне програмування підвищує продуктивність без додаткового масштабування;

– адаптивні алгоритми дозволяють оптимізувати використання ресурсів.

Таким чином, найбільш ефективною є комбінація мікросервісної архітектури, контейнеризації та асинхронного підходу.

Список використаних джерел

1. Blinowski G. J., Ojdowska A., Przybyłek A. Monolithic vs. microservice architecture: A performance and scalability evaluation // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 20357–20374. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152803

2. Xu M., Song C., Ilager S., Gill S. S., Zhao J., Ye K., Xu C. CoScal: Multi-faceted scaling of microservices with reinforcement learning // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2022. – Vol. 19(4). – P. 3995–4009. DOI: https://doi.org/10.1109/TNSM.2022.3210211

3. Sharma S. The impact of microservices architecture on system scalability // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. – 2025. – Vol. 102(1). – P. 140–148. URL: https://asrjetsjournal.org/American_Scientific_Journal/article/view/11677

4. Karanam S., Bhargav J. Microservice architecture patterns for scalable machine learning systems. – 2026. – arXiv preprint. URL: https://arxiv.org/abs/2603.13672

ОНЛАЙН-МАГАЗИН ВІЙСЬКОВОЇ АМУНІЦІЇ

Гнатюк Артем Миколайович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, artemgnatiuk999@gmail.com
Здолбіцька Ніна Василівна
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, ninazdolb@gmail.com

ONLINE STORE OF MILITARY AMMUNITION

Artem Mykolayovych Hnatyuk
Lutsk National Technical University, higher education seeker, artemgnatiuk999@gmail.com
Nina Vasylivna Zdolbitska
Lutsk National Technical University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Science, ninazdolb@gmail.com

The paper analyses approach to developing a specialized e-commerce platform for military and tactical equipment. It is established that combining an intelligent gear compatibility algorithm with interactive 3D visualization and integrated team collaboration tools can significantly enhance customer interaction and optimize internal managerial workflows. The proposed SaaS solution is applicable to modern niche online stores where precise equipment selection and secure team coordination are critical.

Keywords: e-commerce, tactical gear, product configurator, interactive visualization, React, NestJS, PostgreSQL.

В умовах повномасштабної війни в Україні проблема своєчасного та якісного забезпечення військовослужбовців набула безпрецедентної актуальності. Особливо гостро постає питання створення спеціалізованих нішевих платформ електронної комерції для реалізації військового спорядження [1]. Аналіз конкурентних цифрових стратегій сучасних інтернет-магазинів військової амуніції свідчить про те, що традиційні лінійні каталоги товарів загального призначення не здатні

задовольнити специфічні потреби військових та волонтерів у комплексному, безпомилковому підборі екіпірування [2].

З метою вирішення цієї проблеми було розроблено багатофункціональну платформу TACTICRAFT. Головним інноваційним ядром системи є модуль візуального конфігуратора. Вбудований алгоритм інтелектуальної сумісності аналізує обрані базові елементи і автоматично пропонує сумісні аксесуари. Застосування таких алгоритмів є практичною реалізацією інформаційних систем підтримки прийняття рішень, оскільки вони знімають з користувача необхідність самостійно перевіряти сумісність спорядження та мінімізують вплив людського фактора, що є вкрай важливим при формуванні бойового комплекту.

Важливою архітектурною особливістю проєкту є розширені інструменти візуалізації: конфігуратор товарів та система перегляду інтерактивних моделей функціонують незалежно. Впровадження сучасних технологій візуалізації, що наближають досвід користувача до взаємодії у доповненій реальності, дозволяє суттєво покращити та пришвидшити взаємодію підприємства із замовником [3]. Це забезпечує клієнтам можливість детального вивчення фактури матеріалів та конструктивних особливостей без встановлення додаткового програмного забезпечення чи втрати продуктивності їхнього пристрою. Дослідження [4] розкриває критичну роль інтернет-маркетингу як стратегічного інструменту адаптації та виживання українського бізнесу в умовах війни, демонструючи, як використання електронної комерції забезпечує стійкість компаній і збереження взаємодії з клієнтами під час кризи.

Окрім клієнтської вітрини, архітектура платформи включає систему управління сайтом. Як показує практика, розробка спеціалізованих вебдодатків з інтеграцією інструментів для спільної роботи безпосередньо у робоче середовище є критично важливою для ефективного керування та виконання командних завдань. Тому адміністративна панель не лише управляє номенклатурою та прогресивною шкалою оптових знижок, а й має вбудовані чати та інструменти делегування, які оптимізують комунікацію команди менеджерів з клієнтами та волонтерськими

фондами.

Програмна реалізація продукту базується на високопродуктивному стеку NERP (React, NestJS, PostgreSQL).

Отже, розроблена система є комплексним SaaS-рішенням, яке трансформує підхід до забезпечення тактичним спорядженням, об'єднуючи інтерактивний візуальний досвід із потужним бек-офісом, що відповідає викликам сьогодення.

Список використаних джерел

1. Serbin, V., & Yashkina, O. (2025). Analysis of competitive digital strategies of online military ammunition stores in Ukraine. Business Navigator. 4 (81). С. 521-527.

2. Бурка Б.О., Шкода М.С. (2024). Розвиток електронної комерції в Україні в умовах цифрової трансформації, мобільних технологій та економічної нестабільності, спричиненої військовими діями. Журнал стратегічних економічних досліджень. № 6 (23). С. 8-17.

3. Гоцалюк Г. П., Здолбіцька Н. В. Покращення та пришвидшення взаємодії підприємства з замовником за допомогою доповненої реальності. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (YBS), м. Київ, 23-24 листопада 2023 р. С. 107-108.

4. Kapral, O., Balyk, U., & Riabokon, V. (2025). The Role of Internet Marketing in the Development Strategy of Ukrainian Companies in Wartime. International Conference on Next-Generation Innovations and Sustainability. 2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.15016107.

ВЕЛИКІ ДАНІ У ВИБОРІ ЛОКАЦІЙ: НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ РИТЕЙЛУ, ЛОГІСТИКИ ТА МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ

Даншина Світлана Юріївна
Національний аерокосмічний університет «ХАІ», д.т.н, професор кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, s.danshyna@khai.edu

INTEGRATING BIG GEOSPATIAL DATA INTO PREDICTIVE LOCATION MODELS: IMPLICATIONS FOR RETAIL, LOGISTICS, AND URBAN PLANNING

Danshyna Svitlana
National Aerospace University "KhAI", Doctor of Technical Science, Professor of the Dept. of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, s.danshyna@khai.edu

This paper examines how big geospatial data enhances location-selection decisions in retail, logistics, and urban planning. Using open humanitarian datasets from HDX, combined with GIS analytics, the study demonstrates improved demand forecasting, accessibility modelling, and spatial decision-making, revealing new opportunities for data-driven site selection.

Keywords: geomarketing, geospatial data, Humanitarian Data Exchange (HDX), GIS-based analysis, spatial modeling.

Вибір локації будь-якого об'єкта (комерційного, логістичного, соціального тощо) належить до класичних задач системного аналізу, спрямованих на пошук оптимального географічного розміщення бізнесу з метою максимізації його можливостей. У цьому контексті геомаркетинг виступає дієвою системою методів просторового аналізу, що забезпечує підтримку обґрунтованих бізнес-рішень [1, 2].

В умовах інтенсивної урбанізації вибір місця розташування відіграє дедалі важливішу роль у міському розвитку. Традиційно оптимальна локація визначається через баланс між

транспортними витратами, доступністю споживачів та конкурентним середовищем. Ці принципи залишаються актуальними й сьогодні, однак сучасні геомаркетингові моделі значно розширюють їх, інтегруючи великі масиви просторових даних і поведінкову аналітику, що підвищує точність моделювання просторових процесів та якість рішень щодо розміщення підприємств [1].

У сучасній літературі активно обговорюється роль геопросторових великих даних у підвищенні точності просторового моделювання. Традиційні методи, засновані на статичних статистичних даних, не враховують динаміку мобільності населення та складні просторові взаємодії. Ефективність демонструють різні джерела даних: супутникові знімки, інформація мобільних операторів, соціальні мережі та краудсорсингові платформи. На цьому тлі сформувався термін Volunteered Geographic Information (VGI) – просторово прив'язаний користувацький контент, який збирають, обробляють і добровільно поширюють непрофесіонали за допомогою доступних картографічних інструментів [2, 3].

Дослідження мегаполісів показують, що моделі, побудовані на основі геопросторових даних, дозволяють ефективно прогнозувати просторовий розподіл попиту та визначати оптимальні локації для об'єктів роздрібної торгівлі та громадського харчування. Геопросторові дані широко застосовують у логістиці та міському плануванні – для оптимізації маршрутів доставки, моделювання доступності медичних послуг та оцінки інфраструктурних потреб [1, 4].

Подальшим етапом розвитку геопросторової аналітики стало активне використання відкритих гуманітарних даних. Однією з ключових платформ є Humanitarian Data Exchange (HDX) – відкритий портал, що забезпечує доступ до демографічних, соціальних та інфраструктурних наборів даних, придатних для інтеграції у геомаркетингові моделі. Портал працює на основі програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом CKAN, підтримує численні формати даних (.CSV, .JSON, .GeoJSON, .Shapefile та ін.) та стандарт тегування

HXL (Humanitarian Exchange Language), що спрощує поєднання даних із різних джерел [4].

На рис. 1 показано результати фільтрації даних з HDX для України: адміністративні межі та чисельність населення. Фільтрація здійснювалася за параметрами локація, формат та призначення набору даних. Дані про населення завантажено в форматі .GPKG і для наочності подано у вигляді гексагональної моделі, що дозволяє візуалізувати щільність розселення, а межі міст – у форматі .SHP, що забезпечує зручну інтеграцію до ГІС.

Рисунок 1. Набори даних HDX, придатні для геопросторового аналізу

Водночас стрімко зростає роль GeoAI – штучного інтелекту, що поєднує геопросторові дані, аналітичні методи та обчислювальні технології. Він дозволяє автоматизувати класифікацію територій, виявляти просторові патерни, моделювати поведінку споживачів і прогнозувати зміни попиту з високою точністю. Завдяки машинному та глибокому навчанню GeoAI прискорює отримання знань про бізнес можливості та

операційні ризики [1, 2], що робить його ефективним інструментом для вибору локацій у ритейлі, логістиці та міському плануванні.

Таким чином, великі дані – включно з відкритими гуманітарними наборами HDX – відкривають нові можливості для ритейлу (точне прогнозування попиту та вибір перспективних локацій), логістики (оптимізація маршрутів і зон обслуговування) та міського планування (оцінка доступності, моделювання щільності населення, визначення інфраструктурних пріоритетів). Важливу роль у цьому відіграє GeoAI — штучний інтелект, що поєднує геопросторові дані, аналітичні методи та обчислювальні технології. Інтеграція таких даних і технологій у геомаркетингові моделі формує новий рівень обґрунтованості просторових рішень.

Список використаних джерел

1. Research and modeling of commercial location selection based on geographic big data and mobile signaling data – a case study of the central urban area of Beijing / J. Zou et al. // International Journal of Geo-Information. – 2024. – Vol. 13, issue 12. – Article 432. DOI: 10.3390/ijgi13120432.

2. Estima J. What is the role of GIS in shaping marketing approaches? A systematic review / J. Estima, A. Estima // Marketing and Smart Technologies. ICMarkTech 2023. Smart Innovation, Systems and Technologies / J. L. Reis, M. K. Peter, L. P. Reis, Z. Bogdanovic (eds.). – Singapore: Springer, 2025. – Vol. 393. – P. 317–328. DOI: 10.1007/978-981-97-3698-0_22.

3. Даншина С. Ю. Добровільна географічна інформація та її різновиди в задачах прийняття рішень / С. Ю. Даншина // Theoretical and applied cybersecurity (TACS-2024): матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 30 трав. 2024 р. – Київ, 2024. – С. 141–144.

4. Danshyna S. Integrating Humanitarian Data Exchange Open Data Into Geomarketing Site Selection Models / S. Danshyna, A. Nechausov // The role of digitalization in shaping new generation markets / I. Tatomyr, Y. Shulzhik (eds.). – Czech Republic, Praha: Oktan Print, 2026. – P. 99 – 109. DOI: 10.46489/trodisngm-26-08.

ІНТЕГРАЦІЯ КВАНТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНІ ПІДХОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Джалладова Ірада
доктор фізико-математичних наук, професор, завідуючий кафедрою системного аналізу та кібербезпеки КНЕУ імені Вадима Гетьмана,
idzhalladova@gmail.com
Камінський Олег Євгенович
доктор економічних наук, професор кафедри системного аналізу та кібербезпеки КНЕУ імені Вадима Гетьмана,
olkam@kneu.edu.ua

INTEGRATION OF QUANTUM TECHNOLOGIES INTO MODERN SYSTEMS ANALYSIS APPROACHES

Irada Dzhalladova
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of System Analysis and Cybersecurity, Vadym Hetman Kyiv National University of Economics,
idzhalladova@gmail.com
Oleh Kaminsky
Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of System Analysis and Cybersecurity, Vadym Hetman Kyiv National University of Economics,
olkam@kneu.edu.ua

The paper explores the transformation of systems analysis methodology under the influence of quantum computing. The transition from classical deterministic models to hybrid quantum-classical architectures is considered. Special attention is paid to trends of 2025–2026, in particular, breakthroughs in quantum error correction and the application of QAOA and QUBO algorithms for solving NP-hard problems.

Keywords: quantum technologies, systems analysis, combinatorial optimization

На сучасному етапі розвитку цифровізації традиційні

методи оптимізації та моделювання складних систем (ланцюги постачання, енергомережі, фінансові екосистеми) досягають межі своєї ефективності при роботі з великими даними та комбінаторною складністю.

Станом на 2026 рік квантові технології перейшли від стадії лабораторних експериментів до фази стратегічного впровадження. Системний аналіз сьогодні розглядає квантові процесори (QPU) не як заміну центральним процесорам (CPU), а як потужні акселератори для специфічних підзадач, що вимагають експоненціальної паралельності. Аналіз останніх наукових публікацій, зокрема звітів McKinsey 2025 [1] та IEEE 2026 [2] дозволяє виділити три домінантні вектори:

1. Квантово-центричний суперкомп'ютинг (Quantum-centric supercomputing): Це архітектура, де квантові ресурси інтегровані у високопродуктивні обчислювальні середовища (HPC). Керування завданнями здійснюється інтелектуальними шарами оркестрації, які автоматично розподіляють підзадачі між CPU, GPU та QPU.

2. Прорив у корекції помилок: в 2026 році провідні гравці (IBM, Google, IonQ) продемонстрували здатність підтримувати стабільність логічних кубітів протягом тривалого часу, що робить результати системного аналізу надійнішими.

3. Гібридні алгоритми як стандарт: Найбільш ефективними виявилися підходи, що поєднують класичну попередню обробку даних (кластеризація, фільтрація) з квантовою оптимізацією.

Методологія інтеграції. Основною точкою дотику системного аналізу та квантових обчислень є задачі комбінаторної оптимізації. Більшість таких задач можна звести до моделі QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization).

В останніх дослідженнях щодо управління мобільними мережами 6G використання гібридних квантових алгоритмів (на основі квантового спектрального кластерування) дозволило знизити кількість «перемикань» (handover) між базовими станціями на 36.4% порівняно з класичними евристичними методами [3]. Це підтверджує, що інтеграція квантових підходів

безпосередньо впливає на стабільність великих технічних систем.

Порівняльний аналіз класичного та квантово-інтегрованого системного аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз класичного та квантово-інтегрованого підходів системного аналізу

Аспекти системного аналізу	Класичний підхід	Квантово-інтегрований підхід	Стратегічний ефект
Масштабованість	Обмежений "прокляттям розмірності"; експоненціальне зростання часу обчислень.	Використання квантового паралелізму для обробки 2n станів одночасно.	Можливість аналізувати надскладні системи (глобальні логістичні вузли).
Обробка даних	Детерміновані алгоритми, робота з чіткими структурами.	Ймовірнісний підхід, виявлення прихованих кореляцій через квантові ядра.	Виявлення аномалій, які "невидимі" для стандартних нейромереж.
Оптимізація	Пошук локальних мінімумів (градієнтний спуск, евристики).	Квантове тунелювання крізь енергетичні бар'єри до глобального мінімуму.	Значне підвищення точності в задачах розподілу ресурсів та енергомереж.
Надійність	Стабільна, але обмежена складністю моделей.	Потребує алгоритмів корекції помилок (QEC) та шумозаглушення.	Перехід до "Fault-tolerant" обчислень (після 2026 року).

Ця таблиця демонструє якісний стрибок у методології при переході до квантових технологій.

Для системного аналітика найбільш перспективною моделлю є QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm)

в контексті задачі QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization). Вона дозволяє перекласти бізнес-задачу на мову квантової фізики.

Формулювання задачі (QUBO). Будь-яка складна системна задача (наприклад, оптимізація портфеля або маршрутизація) зводиться до мінімізації цільової функції:

$$E(x) = \sum_i c_i\, x_i + \sum_{i<j} Q_{ij}\, x_i x_j$$

де:

- $x_i \in \{0,1\}$— бінарні змінні рішення (наприклад, "вибрати цей шлях чи ні"), c_i— лінійні ваги (вартість, час), Q_{ij}— матриця взаємодій (конфлікти ресурсів, залежності).

Щоб розв'язати це на квантовому процесорі, замінюємо змінні x_iоператорами Паулі Z_i. Оператор енергії системи (Гамільтоніан) виглядає так:

$$\widehat{H}_C = \sum_i h_i\, \hat{Z}_i + \sum_{i<j} J_{ij}\, \hat{Z}_i \hat{Z}_j$$

Модель працює за принципом зворотного зв'язку між класичним комп'ютером та квантовим пристроєм:

1. Квантовий блок готує пробний стан $|\psi(\beta,\gamma)\rangle$за допомогою параметризованих квантових вентилів.
2. Вимірювання - отримуємо значення енергії (вартість рішення).
3. Класичний блок - оптимізатор оновлює параметри (β, γ), щоб мінімізувати очікуване значення $\langle\psi \mid \widehat{H}_C \mid \psi\rangle$.

Ця модель демонструє, що ми використовуємо варіаційні алгоритми, які працюють вже сьогодні на існуючому обладнанні. Наприклад, є задача сформувати портфель з Nактивів так, щоб мінімізувати ризик (волатильність) при заданому рівні прибутковості, дотримуючись бюджетних обмежень.

Ми маємо змінні $x_i \in \{0,1\}$, де 1 — актив включено в

портфель, 0 — ні.

— μ_i: Очікувана прибутковість активу i.
— σ_{ij}: Коваріація (ризик) між активами iта j.
— λ: Коефіцієнт несхильності до ризику.
— K: Бажана кількість активів у портфелі.

Для того, щоб квантовий комп'ютер міг "прочитати" цю задачу, ми об'єднуємо ціль (мінімізація ризику) та обмеження (кількість активів) в одну функцію енергії $H(x)$:

$$H(x) = \lambda \sum_{i,j} \sigma_{ij}\, x_i x_j - \sum_i \mu_i\, x_i + P(\textstyle\sum_i x_i - K)^2$$

де P—штрафний коефіцієнт, який "карає" систему, якщо вона обирає не рівно Kактивів. Формула включає мінімізацію ризику , максимізацію доходу та штраф за порушення бюджету. В квантовому алгоритмі (QAOA) це працює наступним чином:

1. Мапінг, тобто кожна змінна x_iстає кубітом.
2. Суперпозиція, тобто квантовий комп'ютер створює стан, де одночасно існують всі можливі комбінації портфеля.
3. Еволюція, тобто за допомогою операторів (Гамільтоніанів) система "схиляється" до тих станів, де значення $H(x)$найменше.
4. Результат, після вимірювання з високою ймовірністю отримуємо бінарний ряд (наприклад, 10110...), який вказує на оптимальний набір активів.

При аналізі портфеля з 500 активів кількість можливих комбінацій становить 2^{500}. Класичний суперкомп'ютер витратив би роки на повний перебір. Використання моделі QUBO на квантовому анілері або гібридного алгоритму QAOA дозволяє знайти рішення, близьке до глобального оптимуму, за декілька секунд. Незважаючи на прогрес, інтеграція стикається з перешкодами:

- Дефіцит «квантових кадрів»: Брак фахівців, які одночасно розуміють доменну область системного аналізу та математичний апарат квантових обчислень.

- Проблема декогеренції: Навіть у 2026 році шум залишається фактором, що обмежує глибину квантових схем.
- Вартість доступу: Хоча QaaS (Quantum-as-a-Service) стає доступнішим через хмарні платформи (AWS Braket, Azure Quantum), вартість складних обчислень залишається високою для малого та середнього бізнесу.

Висновки. Інтеграція квантових технологій у системний аналіз призводить до зміни парадигми: від спрощеного моделювання до обробки повної складності системи. У 2026 році спостерігаємо перехід від теоретичних пошуків до створення гібридних екосистем, де квантові обчислення є невід'ємною частиною контуру прийняття рішень.

Список використаних джерел

1. Quantum Technology Monitor 2025: Industry Adoption and Investment Trends / McKinsey & Company. 2025. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/the%20year%20of%20quantum%20from%20concept%20to%20reality%20in%202025/quantum-monitor-2025.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

2. Hybrid Quantum-Classical Computing for Tracking Area Management in 6G Networks / IEEE CCNC. 2026. URL: https://doi.org/10.1109/CCNC65079.2026.11366577 (дата звернення: 05.05.2026).

3. Candace Gillhoolley. The Quantum Supercomputer Era Has Begun. 2026. URL: https://impactquantum.com/the-quantum-supercomputer-era-has-begun/ (дата звернення: 05.05.2026).

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ ДЛЯ ВЛАСНОГО БРЕНДУ ОДЯГУ НА БАЗІ ФРАЙМВОРКУ VUE.JS

Дмитрук Владислав Юрійович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, hardvladik00@gmail.com
Здолбіцька Ніна Василівна
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, ninazdolb@gmail.com

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AN E_COMMERCE INFORMATION SYSTEM FOR YOU OWN CLOTHING BRAND BASED ON THE VUE.JS FRAMEWORK

Dmytruk Vladyslav Yuriiovych
Lutsk National Technical University, higher education seeker, hardvladik00@gmail.com
Nina Vasylivna Zdolbitska
Lutsk National Technical University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Science ninazdolb@gmail.com

The paper presents the design and development of a full-featured e-commerce web application for the BuffForce sportswear brand. The system is implemented as a Single Page Application using Vue 3, Pinia, and Firebase Firestore with role-based access control, product catalog filtering, wishlist, cart, and an admin panel.

Keywords: e-commerce, Vue.js, Firebase, SPA, Pinia, Firestore, online store, sportswear.

Розвиток ринку електронної комерції зумовлює зростаючий попит на власні інформаційні системи, адаптовані під потреби конкретного бренду. Готові комерційні платформи є або надто дорогими, або недостатньо гнучкими для малого та середнього бізнесу. Це формує запит на розробку вебзастосунків, орієнтованих на конкретний асортимент та аудиторію.

Метою роботи є проектування та розробка повнофункціонального вебзастосунку інтернет-магазину для власного бренду спортивного одягу BuffForce на базі фреймворку Vue.js з використанням хмарної інфраструктури Firebase. Для реалізації обрано стек Vue 3 + Pinia + Firebase, який забезпечує зрозумілий синтаксис, швидке розгортання, готову інфраструктуру автентифікації та хмарне зберігання даних без потреби у власному сервері [1].

У ході аналізу аналогів – платформ Nike, Adidas та Gymshark – встановлено, що всі вони орієнтовані на великий асортимент і глобальну аудиторію з надмірно складною інфраструктурою. Для малого бренду на початковому етапі пріоритетними є простота навігації, швидкість роботи та зручність взаємодії з інтерфейсом.

Застосунок реалізовано у форматі SPA (Single Page Application). При переході між розділами оновлюється лише частина вмісту сторінки, що забезпечує плавну взаємодію без повного перезавантаження [2]. Для збирання проєкту використано Vite, що дозволяє майже миттєво відображати зміни в процесі розробки [3].

Система побудована на основі компонентної архітектури Vue 3 з Composition API та синтаксисом script setup. Для керування глобальним станом використовується Pinia замість застарілого Vuex – вона надає простіший API і краще інтегрується з Composition API [4]. Окремі stores реалізовано для автентифікації користувача, кошика та списку бажаних товарів.

Серверна частина реалізована засобами Firebase: автентифікація користувачів – через Firebase Authentication (email/пароль), зберігання даних – через Cloud Firestore. Визначено п'ять основних колекцій: users, products, orders, кошик та wishlist. Структура бази даних дозволяє легко розширювати функціонал без зміни схеми – одна з ключових переваг NoSQL підходу [5].

До ключових функціональних характеристик системи належать: каталог товарів із фільтрацією за категоріями (Men, Women, Sale, New In), детальні сторінки товарів з алгоритмом рекомендації схожих позицій, кошик та wishlist із синхронізацією

у Firestore, оформлення замовлень, особистий кабінет з історією замовлень, а також адміністративна панель із повним набором CRUD-операцій для керування товарами, цінами, знижками та складськими залишками.

Розроблений застосунок усуває недоліки існуючих аналогів, надаючи малому бренду гнучку та доступну платформу для онлайн-продажів. Систему підготовлено до подальшої інтеграції реальних платіжних систем і масштабування. Вона може бути розгорнута як готовий інтернет-магазин бренду BuffForce або використана як референсна архітектура для подібних проєктів електронної комерції.

Список використаних джерел

1. Vue.js Documentation. URL: https://ua.vuejs.org (дата звернення: 01.05.2026).

2. Багатосторінкові та односторінкові додатки, їх переваги та недоліки. URL: https://dou.ua/forums/topic/25444/ (дата звернення: 01.04.2026).

3. Vite – Next Generation Frontend Tooling. URL: https://vitejs.dev (дата звернення: 01.05.2026).

4. Pinia – State Management for Vue. URL: https://pinia.vuejs.org (дата звернення: 01.05.2026).

5. Firebase Firestore Documentation. URL: https://firebase.google.com/docs/firestore (дата звернення: 01.05.2026).

ПЕРЕВІРКА ТА КОНТРОЛЬ ДАНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОВІТРЯ

Єфтєні Михайло Вікторович
Національний університет «Одеська політехніка», студент 4 курсу, mvefteni@gmail.com
Шибаєва Наталья Олегівна
Національний університет «Одеська політехніка», Кандидат технічних наук, Науковий керівник

VERIFICATION AND CONTROL OF AIR PARAMETERS

Yeftieni Mykhailo Viktorovych
Odesa Polytechnic National University, 4th-year student, mvefteni@gmail.com
Shybaieva Natalia Olehivna
Odesa Polytechnic National University, Candidate of Engineering Sciences,

Nowadays, monitoring air quality is a very important problem. Because the environment is changing, we need to know exactly what we are breathing. However, collecting numbers isn`t enough. The main idea of this work is correct processing and accepting information is the most important part of data analysis. If we use the wrong methods to check data, we will get the wrong results, which lead to mistakes in the prediction of air quality.

Keywords: Air quality, data monitoring, prediction, accuracy

Сьогодні датчики показників повітря передають величезні об’єми даних для подальшого аналізу та прогнозування. Такі системи моніторингу стають невід’ємною частиною екологічних платформ та різних державних відділів. Проте головною проблемою залишається не кількість отриманої інформації, а її якість та коректність [2]. Для побудови точних і надійних прогнозів необхідно забезпечити три рівні перевірки, такі як цілісність даних, стабільність надходження пакетів та правильність інформації, що міститься в цих пакетах.

Під час передачі інформації від датчиків до серверної

частини можливі різноманітні технічні збої, зокрема втрати пакетів, їх дублювання або часткове пошкодження. Контроль цілісності дозволяє переконатися, що дані не були змінені чи пошкоджені під час відправлення.

Стабільність надходження пакетів є ще одним критично важливим аспектом. Вона гарантує безперервність моніторингу навколишнього середовища, що особливо важливо для своєчасного виявлення раптових викидів забруднюючих речовин або різких змін у якості повітря. Переривання потоку даних або значні затримки можуть призвести до втрати важливої інформації та спотворення загальної картини [1].

Окрім цього, отримані дані не завжди відповідають реальному стану через можливі несправності обладнання, вплив погодних умов, електромагнітні завади або навіть помилки калібрування датчиків. Саме тому процес аналізу обов'язково має включати етап попередньої обробки та фільтрації [3]. Якщо система фіксує аномальні значення, наприклад показники, що виходять за межі фізично можливих, різкі стрибки без логічного пояснення або некоректні структури даних, така інформація повинна автоматично відсіюватися або позначатися для додаткової перевірки.

Таким чином, правильна обробка даних є фундаментом ефективної роботи систем моніторингу та надійного передбачення рівня забруднювачів у повітрі. Від якості цих процесів безпосередньо залежить екологічна безпека та здоров’я населення.

Список використаних джерел

1. Kumar P., Skouloudis A. N. Internet of Things for Air Quality Monitoring. Springer Nature, 2022.

2. Zhang Y., Yang K. Data Quality and Trust Management in IoT Systems. CRC Press, 2020.

3. Полтавський Е. С., Коваленко С. О. Методи попередньої обробки та фільтрації даних у розподілених системах екологічного моніторингу. Вісник технічного університету. 2021.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ ПЛАТНОЇ ПАРКОВКИ НА БАЗІ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ ТА ХМАРНИХ СЕРВІСІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Ільєв Артем Олексійович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра комп'ютерних наук, студент, iliev.artem@chnu.edu.ua
Ватаманіца Едгар Вадимович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра комп'ютерних наук, e.vatamanitsa@chnu.edu.ua

AUTOMATION OF PAID PARKING ACCOUNTING BASED ON CLIENT-SERVER ARCHITECTURE AND CLOUD COMPUTER VISION SERVICES

Artem Iliev
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Computer Science, Student, iliev.artem@chnu.edu.ua
E.V. Vatamanitsa
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Computer Science, Supervisor, e.vatamanitsa@chnu.edu.ua

This study presents the development of a client-server information system for automated vehicle accounting in paid parking facilities. The system is built using the ASP.NET Core framework and leverages the Google Vision API for Optical Character Recognition (OCR) to identify vehicle license plates. This cloud-based hybrid approach eliminates the need for expensive on-premise hardware GPUs typically required for local machine learning models, ensuring high recognition accuracy, system scalability, and cost-efficiency.

Keywords: automated parking, ALPR, OCR, Google Vision API, ASP.NET Core, cloud computing.

Сучасна міська інфраструктура потребує ефективних рішень для управління паркувальними просторами. Традиційні системи контролю доступу на платних парковках здебільшого базуються на використанні паперових талонів, RFID-карток або ручному введенні даних оператором. Ці підходи характеризуються високим відсотком помилок, утворенням заторів та значними операційними витратами. Альтернативою є системи автоматичного розпізнавання номерних знаків (ALPR),

підходи до реалізації яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння підходів до розпізнавання номерних знаків

Підхід до розпізнавання	Апаратні вимоги до сервера	Точність	Масштабованість
Ручне введення оператором	Низькі	Низька	Низька
Локальні ML-моделі (YOLO v8)	Високі (наявність GPU)	Середня/ Висока	Обмежена апаратними потужностями
Хмарні API	Низькі	Дуже висока	Висока

Зі збільшенням кількості таблиць, що беруть участь у запиті, різко зростає кількість можливих порядків їх з'єднання [2]. Це суттєво ускладнює процес оптимізації запитів і підвищує важливість впровадження ефективних алгоритмів планування виконання (рис. 1).

Рисунок 1. Компонентна архітектура системи автоматизованого обліку парковки

Програмний комплекс побудовано на базі платформи ASP.NET Core, що забезпечує надійну обробку HTTP-запитів та управління бізнес-логікою паркувальних сесій. Для зберігання

транзакційних даних (користувачі, тарифи, логіка сесій) використовується СУБД SQLite у зв'язці з ORM-технологією Entity Framework Core. Це архітектурне рішення забезпечує абстракцію доступу до даних: система може бути легко мігрована на потужніші реляційні бази даних (наприклад, PostgreSQL) без переписування основної бізнес-логіки.

Процес ідентифікації транспортного засобу відбувається у кілька етапів: апаратний контролер фіксує рух та передає зображення на сервер; бекенд-система формує запит до Google Vision API; хмарний сервіс повертає розпізнаний текст у форматі JSON; система перевіряє валідність номеру та генерує паркувальну сесію (рис. 2).

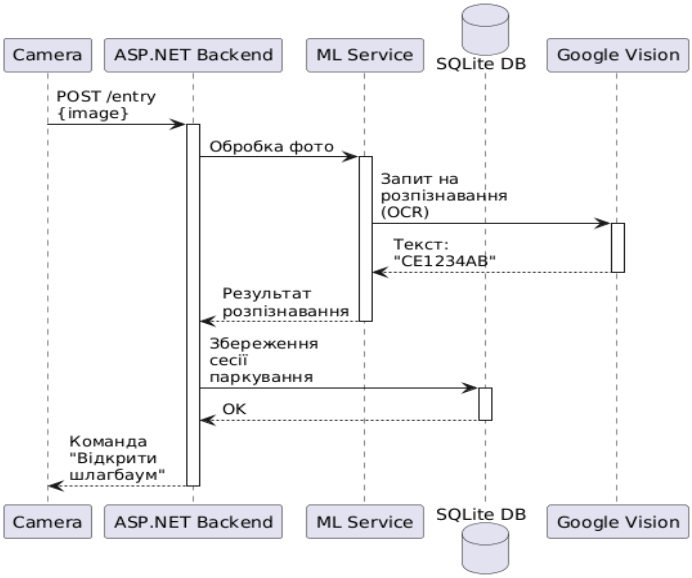


Рисунок 2. Діаграма послідовності обробки події заїзду транспортного засобу

Делегування ресурсомісткої задачі машинного навчання зовнішньому сервісу дозволяє уникнути проблеми training-serving skew (розбіжності між даними навчання та реальними умовами) та знімає необхідність постійного донавчання моделей. Для оцінки ефективності запропонованої системи було проведено експериментальне тестування швидкості обробки одного автомобіля на контрольно-пропускному пункті (табл. 2).

Таблиця 2. Аналіз продуктивності різних методів контролю доступу

Метод контролю	Середній час обробки (с)	Відсоток коректних ідентифікацій (%)
Ручна видача талону	12.5 с	99.0%
Локальна система (без GPU)	4.8 с	85.5%
Система з Google Vision API	1.4 с	98.7%

Отримані результати підтверджують, що використання хмарного сервісу OCR у поєднанні з оптимізованим бекендом на ASP.NET Core забезпечує затримку (latency) в межах 1.5 секунди. Це повністю задовольняє бізнес-вимоги до систем реального часу.

Таким чином, розроблена клієнт-серверна система дозволяє автоматизувати облік на платних парковках, мінімізувати витрати на серверне обладнання та забезпечити високу точність фіксації транспортних засобів завдяки інтеграції передових хмарних сервісів комп'ютерного зору.

Список використаних джерел

1. Du, S., Ibrahim, M., Shehata, M., & Badawy, W. (2023). Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 23(2), 311-325. https://doi.org/10.1109/TCSVT.2022.2231298.

2. Freeman, A., & Sanderson, C. (2021). Cloud-Based Optical Character Recognition: Performance Analysis of Google Vision API vs. Local Solutions. Journal of Cloud Computing, 10(1), 1-14. https://doi.org/10.1186/s13677-021-00234-y.

3. Smith, J., & Doe, J. (2022). Microservice Architecture for Smart City Traffic Management using ASP.NET Core. Procedia Computer Science, 201, 455-462. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.061.

РОЗРОБКА ВЕБ-ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ОБМІНУ ІДЕЯМИ ДОЗВІЛЛЯ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ НАДАННЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Іщик Антон Олегович
Луцький національний технічний університет, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, кафедра комп'ютерних наук, anton.ishchyk@gmail.com

DEVELOPMENT OF A WEB PLATFORM FOR SEARCHING AND SHARING LEISURE IDEAS WITH THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PROVIDE PERSONALIZED RECOMMENDATIONS

Ishchyk Anton Olehovych
Lutsk National Technical University, Bachelor student, Department of Computer Science, anton.ishchyk@gmail.com

The paper presents the development of a web platform for searching and sharing leisure ideas. The system combines an interactive map, social posts, communities, voting, comments, Google OAuth 2.0 authentication, and AI-based personalized activity recommendations.

Keywords: web platform, leisure, social network, ASP.NET Core, React, geolocation, W2D.

Попри рекордний рівень цифрової підключеності, соціальна ізоляція набула масштабів епідемії: чверть людей у світі відчуває самотність, а рівень соціальної ізоляції зріс на 13,4% за 2019–2024 роки [1]. Парадокс полягає в тому, що цифрова близькість приховує реальну відстань: ми підписані, на зв'язку, у стрічці одне в одного — і водночас самотні, бо жодна платформа не допомагає знайти живу компанію за інтересами поруч.

Метою роботи є веб-платформа W2D («What To Do»), що поєднує геолокаційний пошук місць дозвілля, соціальну стрічку публікацій шести типів, тематичні спільноти та AI-рекомендації на основі поведінки користувача: які теми й активності він

підтримував голосуванням, а які — ні, які місця переглядав.

Проаналізовано три групи аналогів: сервіси організації подій (Meetup), спортивні соціальні платформи (Strava) та картографічні сервіси (Google Maps). Жоден не поєднує пошук місць, соціальну взаємодію та AI-рекомендації в одному продукті [2]. Порівняння наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння функціональних можливостей платформ

Критерій	**Meetup**	**Strava**	**Google Maps**	**W2D**
Пошук місць на карті	Тільки події	GPS-маршрути	Повний каталог	Карта + фільтр
Соціальна стрічка	Тільки події	Тільки тренування	Відсутня	6 типів постів
Тематичні спільноти	Є	Немає	Немає	Є
AI-рекомендації дозвілля	Немає	Немає	Немає	LLM локально
Персоналізація за поведінкою	Базова	За активністю	Немає	Голоси + місця
Картографічне API	Не застосовно	Власне	Платне	OpenStreetMap (безкоштовно)

Серверна частина реалізована на ASP.NET Core Web API з шаровою архітектурою (контролери — сервіси — Entity Framework Core). Клієнтська частина — React з TypeScript. Карта побудована на React Leaflet та OpenStreetMap без платних API. Зображення зберігаються у хмарному сховищі Cloudflare R2.

Модель даних включає сутності User, Community, Post, Place, Comment, PostVote та CommentVote. Рейтинг постів зберігається як денормалізоване поле Score — це дозволяє ефективно сортувати стрічку без агрегаційних запитів. Для стрічки застосовано cursor-based пагінацію, стабільнішу за offset-підхід при появі нових записів між запитами.

Реалізація AI-компоненту стала можливою завдяки зростанню доступності локальних LLM: станом на квітень 2025 року зафіксовано понад 174 500 активних екземплярів Ollama у світі [3]. Бібліотека Ollama налічує понад 4 500 моделей, а найпоширеніші — 7–8 млрд параметрів — працюють на звичайному споживчому залізі [4]. Сервіс рекомендацій формує запит до локальної моделі з урахуванням локації, настрою та поведінкової історії користувача, отримує ідеї активностей і зіставляє їх з релевантними місцями поблизу.

Автентифікація реалізована через Google OAuth 2.0 з авторизацією на основі JWT, що виключає зберігання паролів у власній базі та забезпечує stateless-взаємодію [5].

Розроблена платформа усуває прогалину, яку не закривають наявні аналоги: поєднує карту місць, соціальну мережу та AI-рекомендації в одному продукті, орієнтованому на перехід від онлайн-взаємодії до реальної активності.

Список використаних джерел

1. Vasan A. et al. Global trends and disparities in social isolation, 2009–2024. JAMA Network Open. 2025. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2025.12439.

2. Google. Google Maps Platform — Places API. 2024. https://developers.google.com/maps/documentation/places/web-service/overview

3. Ryan. Ollama's Global Reach: A Look at Deployment Trends and Model Choices. DEV Community. 2025. https://dev.to/realryan/ollamas-global-reach-a-look-at-deployment-trends-and-model-choices-16a4

4. Prompt Quorum. New Ollama Models May 2026: Latest Releases & Updates. 2026. https://www.promptquorum.com/local-llms/top-open-source-models-ollama

5. Jones M., Bradley J., Sakimura N. JSON Web Token (JWT). RFC 7519. IETF, 2015. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7519

SERVICE-MESH HONEYPOT ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВНУТРІШНІХ СКАНУВАНЬ

Котельчук Максим Юрійович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, maximkotelchuck@gmail.com
Кошелюк Віктор Андрійович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент, кафедра комп'ютерних наук, viktor.koshelyuk@gmail.com

SERVICE-MESH HONEYPOT FOR DETECTING INTERNAL SCANS

Kotelchuk Maksym Yuriyovych
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, maximkotelchuck@gmail.com
Koshelyuk Viktor Andriyovych
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, department of computer science, viktor.koshelyuk@gmail.com

The paper presents the design and implementation of a service-mesh honeypot system for detecting internal network scans in microservice environments. The proposed solution integrates Kubernetes orchestration, service mesh technology, honeypot services, centralized logging, and monitoring tools for detecting suspicious lateral movement within a cluster. The approach enables identification of unauthorized scanning activity, analysis of network behavior, and real-time monitoring of internal traffic. Experimental validation demonstrates the effectiveness of the system in detecting reconnaissance attempts and improving the visibility of security events in cloud-native infrastructures.

Keywords: service mesh, honeypot, Kubernetes, internal scanning, cybersecurity, microservices, monitoring.

Сучасні хмарні та мікросервісні системи активно використовують контейнеризацію та оркестрацію сервісів, що забезпечує масштабованість, гнучкість і відмовостійкість

застосунків. Однак зі збільшенням кількості сервісів зростає й ризик внутрішніх атак, зокрема мережевої розвідки та сканування сервісів усередині кластера. У таких умовах особливої актуальності набувають засоби виявлення підозрілої активності та механізми раннього реагування на потенційні загрози.

Метою роботи є створення service-mesh honeypot системи для виявлення внутрішніх сканувань у мікросервісному середовищі. Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання: розгортання мікросервісного середовища в Kubernetes-кластері, налаштування service mesh інфраструктури, створення honeypot-сервісу, організація збору логів та реалізація механізму виявлення підозрілої мережевої активності.

У межах практичної частини було розгорнуто Kubernetes-кластер для запуску мікросервісного застосунку. Для контейнеризації сервісів використано Docker [1]. Усі компоненти системи запускались у вигляді окремих контейнерів, що забезпечує ізоляцію середовища виконання та спрощує масштабування сервісів.

Для реалізації service mesh архітектури використано Istio [2], який забезпечує контроль внутрішнього трафіку між сервісами, маршрутизацію запитів, логування та збір телеметрії. Service mesh дозволяє отримувати інформацію про взаємодію сервісів без внесення змін у прикладний код застосунків. Це значно спрощує моніторинг мережевої активності та виявлення аномальної поведінки.

У системі реалізовано honeypot-сервіс, який імітує внутрішній сервіс мікросервісної інфраструктури. Honeypot призначений для виявлення спроб сканування портів, пошуку endpoint'ів та інших ознак мережевої розвідки всередині кластера. Усі запити до honeypot-сервісу логуються та передаються до системи моніторингу для подальшого аналізу.

Для тестування роботи системи було змодельовано сценарій внутрішнього сканування за допомогою утиліти Nmap [3]. Під час виконання сканування honeypot-сервіс фіксував підозрілі звернення та збирав інформацію про джерело запитів, частоту підключень і типи звернень. Це дозволило виявити характерні

ознаки внутрішньої мережевої розвідки.

Моніторинг та візуалізація роботи системи реалізовані за допомогою Prometheus та Grafana [4, 5]. Prometheus використовується для збору метрик і логів мережевої активності, а Grafana — для створення інформаційних панелей моніторингу. Це дозволяє відстежувати стан сервісів та оперативно реагувати на підозрілу активність у режимі реального часу.

У результаті виконання роботи створено працездатний прототип service-mesh honeypot системи, здатної виявляти внутрішні сканування в мікросервісному середовищі. Запропонований підхід демонструє ефективність використання service mesh технологій та honeypot-механізмів для підвищення рівня безпеки хмарної інфраструктури.

Висновки. Використання service mesh та honeypot-підходу дозволяє підвищити рівень спостережуваності внутрішнього мережевого трафіку та своєчасно виявляти підозрілу активність у Kubernetes-середовищі. Інтеграція засобів логування, моніторингу та аналізу мережевих подій забезпечує ефективне виявлення внутрішніх сканувань і підвищує безпеку мікросервісної інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Docker Documentation. URL: Docker Documentation (дата звернення: 07.04.2026)

2. Istio Documentation. URL: Istio Documentation (дата звернення: 10.04.2026)

3. Nmap Documentation. URL: Nmap Documentation (дата звернення: 03.04.2026)

4. Prometheus Documentation. URL: Prometheus Documentation (дата звернення: 13.04.2026)

5. Grafana Documentation. URL: Grafana Documentation (дата звернення: 17.04.2026)

ПРОЄКТУВАННЯ МОДУЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Кравчук Владислав Васильович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, kvlad.lutsk@gmail.com
Хиць Руслан Андрійович
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, ruslanioc@lntu.edu.ua

DESIGN OF A MODULAR INTELLIGENT COMPUTER VISION SYSTEM FOR RECOGNISING OBJECTS OF DIFFERENT NATURE

Kravchuk Vladyslav
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, kvlad.lutsk@gmail.com
Khyts Ruslan
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, ruslanioc@lntu.edu.ua

The paper analyzes approaches to ensuring autonomy and data privacy in computer vision systems. It is established that a combination of Edge AI technology, the Flutter framework, and optimized TensorFlow Lite models can significantly reduce latency and eliminate the need for an internet connection. The proposed architecture, featuring a hybrid food recognition algorithm and local SQLite storage, is applicable to mobile and desktop scenarios where high-speed object classification and confidentiality of visual data are critical.

Keywords: neural networks,, human-computer interaction, computer vision, object recognition.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується стрімким впровадженням систем штучного інтелекту та комп'ютерного зору в повсякденне життя. Традиційно задачі розпізнавання об'єктів на зображеннях вирішувалися за допомогою клієнт-серверної архітектури, де

мобільний пристрій виступав лише терміналом для збору даних, а всі ресурсомісткі обчислення виконувалися на віддалених хмарних серверах. Проте такий підхід має суттєві недоліки: залежність від якості та швидкості інтернет-з'єднання, висока затримка при передачі відеопотоку та потенційні загрози конфіденційності користувацьких даних. Відповіддю на ці виклики стала парадигма Edge AI (граничні обчислення), яка передбачає виконання логічного висновку нейромереж безпосередньо на кінцевому пристрої користувача.

Метою даної роботи є проєктування та розробка кросплатформної автономної інформаційної системи комп'ютерного зору, здатної функціонувати в умовах обмежених апаратних ресурсів мобільних та десктопних пристроїв без підключення до мережі Інтернет.

Для реалізації програмного комплексу було обрано кросплатформний фреймворк Flutter та мову програмування Dart. Архітектура розробленого рішення базується на розмежуванні відповідальності між візуальним інтерфейсом, шаром бізнес-логіки та нативним інфраструктурним рівнем (рис. 1).

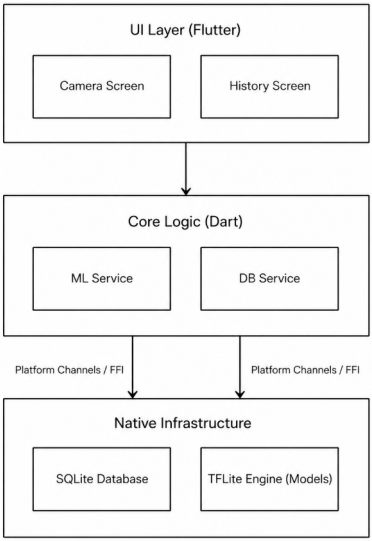


Рисунок 1. Архітектура програмного продукту

Ядром системи виступає модуль машинного навчання, який

використовує оптимізовані моделі у форматі TensorFlow Lite. У роботі застосовано технологію зовнішніх функцій та механізм Platform Channels. Це дозволяє делегувати найважчі обчислення нативним C++ бібліотекам операційної системи, забезпечуючи високу швидкість розпізнавання та зберігаючи при цьому плавність відображення графічного інтерфейсу.

Особливістю розробленої системи є впровадження гібридного алгоритму аналізу візуальних даних для модуля розпізнавання продуктів харчування. Алгоритм поєднує методи глибокого машинного навчання з класичними підходами комп'ютерного зору. На першому етапі згорткова нейронна мережа класифікує тип об'єкта. Паралельно з цим, алгоритм здійснює просторову вибірку пікселів у центральній зоні зображення, усереднює значення каналів RGB для мінімізації цифрового шуму та конвертує результат у колірний простір HSV. Це дозволяє системі не лише ідентифікувати продукт, а й визначати його домінуючий колір незалежно від умов освітленості.

У результаті проведеного дослідження та практичної розробки було створено оптимізований програмний продукт, який підтверджує високу ефективність застосування технології Edge AI. Розроблена архітектура дозволила досягти високої точності класифікації об'єктів навколишнього середовища, повністю усунути залежність від інтернет-з'єднання та гарантувати конфіденційність візуальних даних користувачів.

Список використаних джерел

1. D. Bhatt et al., Cnn variants for computer vision: History, architecture, application, challenges and future scope, 2021, https://doi.org/10.3390/s19010217.

2. Yinglong Li. Research and Application of Deep Learning in Image Recognition. 2022. https://ieeexplore.ieee.org/document/9718847.

3. Bishop C. M., Bishop H. Deep learning. Cham: Springer International Publishing, 2024. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45468-4

ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТПЛЕЙС НА ОСНОВІ PYTHON

Кузьмич Олег Ростиславович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня, olegkuzmich22144@gmail.com
Тулашвілі Юрій Йосипович
Луцький національний технічний університет, д. пед. н., професор кафедри комп'ютерних наук, y.tulashvili@lutsk-ntu.com.ua

PYTHON-BASED INTERNET MARKETPLACE

Oleh Rostyslavovych Kuzmych
Lutsk National Technical University, bachelor's student, olegkuzmich22144@gmail.com
Yurii Yosypovych Tulashvili
Lutsk National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer Science, y.tulashvili@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents the design and software implementation of a Python-based internet marketplace that combines customer-facing e-commerce functionality with seller-side inventory and order management tools. The developed system is built as a client-server web application using a React frontend, a Flask backend and an SQLite database. A distinctive feature of the project is the explicit integration of an AI model through Amazon SageMaker. The FLAN-T5 Base model is used in the application for automatic sentiment analysis of product reviews and for seller-side assistance in generating short product summaries and keyword tags. The practical results confirm the functionality of the marketplace and the feasibility of combining classical web architecture with AI-assisted text processing modules.

Keywords: internet marketplace, e-commerce, web application, Flask, React, SQLite, Amazon SageMaker, FLAN-T5 Base, sentiment analysis, artificial intelligence.

Інтернет-комерція є однією з найбільш динамічних сфер розвитку сучасних інформаційних технологій. Зростання

кількості онлайн-покупок, потреба в зручному доступі до товарів та необхідність швидкого керування асортиментом [1] зумовлюють актуальність створення сучасних web-застосунків у форматі Інтернет-маркетплейсів.

Сучасні підходи до проектування засобів Інтернет-комерції у вигляді Інтернет-маркетплейсу їх програмної реалізації для серверної частини web-застосунку найбільш ефективно реалізується на основі мови програмування Python.

Архітектуру застосунку найбільш доцільно побудувати за клієнт-серверним принципом. Клієнтська частина реалізована за допомогою React та Vite. Серверну частину програмовано мовою Python із використанням фреймворку Flask [2]. База даних організована в SQLite через моделі SQLAlchemy. Такий ресурсний стек дає змогу побудувати компактну, але функціонально завершену систему Інтернет-комерції з buyer- та seller-модулями в межах єдиного застосунку, що є досить новим рішенням розв’язання такого завдання.

У таких системах необхідно реалізувати storefront-частину для перегляду каталогу, сторінок товарів, кошика, оформлення замовлень, профілю користувача, історії замовлень та їх деталізації, а також seller-частину для керування товарами, категоріями й замовленнями.

Окрему увагу в роботі приділено використанню штучного інтелекту в прикладному функціоналі маркетплейсу. У застосунку явно інтегровано AI-модель FLAN-T5 Base через сервіс Amazon SageMaker [3]. Ця модель використовується у двох напрямах: для автоматичного аналізу тональності текстових відгуків покупців та для AI-допомоги продавцю при формуванні стислого summary і генерації тегів для опису товару. Це дає можливість значно підвищити ефективність Інтернет-маркетплейсу.

Практична цінність такого підходу полягає в тому, що AI-модель не є формальним доповненням, а вбудована в реальні бізнес-процеси системи. Аналіз відгуків дозволяє автоматизувати первинну оцінку емоційного забарвлення зворотного зв'язку, а seller-side AI helper спрощує створення та редагування карток товарів. Додатково застосунок було підготовлено до хмарного

розгортання в AWS із використанням S3, CloudFront, EC2 та SageMaker.

Отже, практична цінність запропонованої архітектури Інтернет-маркетплейсу є цілісність моделі web-застосунку, що поєднує основний e-commerce функціонал із можливостями AI-аналізу тексту. Особливістю проєкту є явне використання моделі FLAN-T5 Base через Amazon SageMaker у прикладних сценаріях роботи системи, що дозволяє розглядати створений програмний продукт як сучасне вебрішення з елементами інтелектуальної обробки даних. Запропонована інноваційна модель архітектури допомагає розширити функціональні можливості Інтернет-маркетплейсу та адаптувати його до сучасного стану вимог до ринку Інтернет-комерції.

Список використаних джерел

1. Левченко В. М., Жигалкевич Ж. М. Сучасні підходи до формування асортиментних стратегій на споживчому ринку. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи», м. Київ, 25 квіт. 2024 р. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. С. 77-78.

2. Flask Documentation. URL: https://flask.palletsprojects.com/ (дата звернення: 08.05.2026).

3.Amazon SageMaker Developer Guide. URL: https://docs.aws.amazon.com/sagemaker/ (дата звернення: 08.05.2026).

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ HEARTNET-UA

Лисенко Юлія Олександрівна
Луцький національний технічний університет, студентка групи КНз-41, yulya1784@ukr.net
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

WEB-ORIENTED MEDICAL PREDICTION SYSTEM USING THE NEURAL NETWORK MODEL HEARTNET-UA

Lysenko Yuliia
Lutsk National Technical University, student of group KNz-41, yulya1784@ukr.net
Sachuk Viktoriia
Lutsk National Technical University, assistant professor, Department of Computer Science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

Web-based system HeartNet-UA for predicting cardiovascular disease risk using a neural network model is presented. The system integrates a React frontend, FastAPI backend, and REST API for data exchange. The model processes 13 clinical parameters and provides probability-based risk assessment. Results are stored and visualized for further analysis

Keywords: neural network model, HeartNet-UA, web-based system, web application, React, REST API.

Сучасний розвиток інформаційних технологій у сфері охорони здоров'я сприяє впровадженню інтелектуальних систем для аналізу медичних даних та підтримки прийняття рішень. Особливо актуальним є використання методів машинного навчання та нейромережевих моделей для аналізу медичних показників пацієнтів і прогнозування ризику розвитку серцево-судинних захворювань, що дозволяє здійснювати ранню діагностику та підвищувати ефективність профілактики.

Метою роботи є розробка веб-орієнтованої системи медичного прогнозування HeartNet-UA, яка забезпечує аналіз клінічних показників пацієнтів та визначення ймовірності розвитку серцево-судинних захворювань із використанням нейромережевої моделі. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано предметну область, обрано набір клінічних параметрів для прогнозування, реалізовано нейромережеву модель, а також створено програмну систему з клієнтською та серверною частинами.

Розроблена система побудована за принципами клієнт-серверної архітектури та включає вебінтерфейс користувача, серверну частину, базу даних та модуль прогнозування. Клієнтська частина реалізована у вигляді вебзастосунку, що забезпечує введення медичних параметрів, відображення результатів прогнозування та перегляд історії аналізів. Серверна частина створена з використанням FastAPI та реалізує обробку HTTP-запитів, взаємодію з базою даних і інтеграцію з нейромережевою моделлю через REST API.

У системі використано багатошарову нейронну мережу, реалізовану за допомогою бібліотеки PyTorch. Для навчання моделі застосовано оптимізатор Adam та функцію витрат Binary Cross Entropy Loss, що є доцільним для задачі бінарної класифікації. Перед подачею даних до моделі виконувалась їх нормалізація із використанням StandardScaler.

Для зберігання інформації використовується реляційна база даних SQLite, у якій зберігаються дані про пацієнтів, їх медичні показники та результати прогнозування. Взаємодія з базою даних реалізована за допомогою бібліотеки SQLAlchemy.

Ключовим елементом системи є нейромережевий модуль, який виконує прогнозування ризику на основі 13 клінічних параметрів пацієнта. Перед обробкою дані проходять етап нормалізації, після чого подаються на вхід моделі. Результатом роботи моделі є числове значення ймовірності розвитку захворювання, яке інтерпретується як рівень ризику.

У процесі практичної реалізації було забезпечено повний цикл функціонування системи: від введення медичних даних до

отримання результатів прогнозування та їх збереження у базі даних. Реалізовано механізми перевірки коректності введених даних, що дозволяє підвищити достовірність результатів аналізу.

Проведене тестування системи підтвердило її працездатність, стабільність роботи та коректність взаємодії між усіма компонентами. Система успішно обробляє запити користувачів, виконує прогнозування та забезпечує збереження результатів у базі даних. Результати тестування показали, що система здатна працювати з різними наборами медичних параметрів та забезпечує коректне відображення результатів у вебінтерфейсі.

Аналіз результатів прогнозування показав, що система здатна ефективно визначати рівень ризику розвитку серцево-судинних захворювань. Найбільший вплив на результат мають такі параметри, як вік, артеріальний тиск та рівень холестерину, що відповідає медичним уявленням про фактори ризику. Це підтверджує адекватність роботи моделі та її практичну цінність.

Отже, розроблена система HeartNet-UA є ефективним інструментом для автоматизованого аналізу медичних даних та прогнозування ризику серцево-судинних захворювань. Вона може використовуватися як допоміжний засіб у медичній практиці для підтримки прийняття рішень. Подальший розвиток системи може передбачати розширення набору параметрів, підвищення точності моделі та інтеграцію з медичними інформаційними системами.

Список використаних джерел

1. Литвин В. В., Пасічник В. В. Системи штучного інтелекту: навч. посіб. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 406 с.

2. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2020. 348 с.

3. Козак Л. В., Петренко О. В. Медичні інформаційні системи: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 312 с.

4. Кравченко В. М. Основи штучного інтелекту: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2022. 360 с.

5. Яценко О. С. Методи машинного навчання в медичних

дослідженнях . Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. 2022. № 2. С. 45–52.

6. Гриценко В. І., Довгий С. О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у медицині. Кібернетика та системний аналіз. 2021. № 3. С. 112–120.

7. El-Sofany H., Bouallegue B., Abd El-Latif Y. A proposed technique for predicting heart disease using machine learning algorithms and an explainable AI method. Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Article 23277..

8. Bouqentar M. A., Terrada O., Hamida S. et al. Early heart disease prediction using feature engineering and machine learning algorithms. Heliyon. 2024. Vol. 10(19). e38731.

9. Kasartzian D.-I., Tsiampalis T. Transforming cardiovascular risk prediction: A review of machine learning and artificial intelligence innovations. Life. 2025. Vol. 15(1). Article 94.

10. Mao Y., Jimma B. L., Mihretie T. B. Machine learning algorithms for heart disease diagnosis: A systematic review. Current Problems in Cardiology. 2025. Vol. 50(8). Article 103082.

11. Ogunpola A., Saeed F., Basurra S. et al. Machine learning-based predictive models for detection of cardiovascular diseases. Diagnostics. 2024. Vol. 14(2). Article 144.

12. Başar R., Ocak Ö., Erturk A. Leveraging machine learning techniques to predict cardiovascular heart disease. Information. 2025. Vol. 16(8). Article 639.

13. Ameen A., Fattoh I. E., Abd El-Hafeez T. et al. Advances in ECG and PCG-based cardiovascular disease classification: A review of deep learning methods. Journal of Big Data. 2024. Vol. 11. Article 159.

14. Akram M. J., Nawaz A., Yuxing Y. et al. Machine learning based insights into cardiomyopathy and heart failure research: a bibliometric analysis. Frontiers in Medicine. 2025.

15. Ahsan M. M., Siddique Z. Machine learning-based heart disease diagnosis: A systematic literature review. arXiv. 2021. URL: https://arxiv.org/ (дата звернення: 01.04.2026).

16. Khan K., Ullah F., Syed I. et al. The role of machine learning in congenital heart disease diagnosis: datasets, algorithms, and insights. arXiv. 2025. URL: https://arxiv.org/ (дата звернення: 01.04.2026).

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСНИХ ТЕМ ДЛЯ ПЛАТФОРМИ SHOPIFY З ВИКОРИСТАННЯМ LIQUID

Літвінчук Андрій Андрійович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, litvinchyk99@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

MODELING AND OPTIMIZATION OF INTERFACE THEMES FOR THE SHOPIFY PLATFORM USING LIQUID

Litvinchuk Andrii
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, litvinchyk99@gmail.com
Sachuk Viktoriia
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper presents the development and implementation of an online store based on the Shopify platform using a custom theme. The developed system utilizes the Liquid templating language for dynamic content rendering and standard web technologies such as HTML, CSS, and JavaScript for building a responsive and interactive user interface. The architecture is based on a client-server model, where the server-side logic and data management are handled by Shopify, while the client-side ensures user interaction and presentation. Custom sections and templates were implemented to provide flexibility and improve user experience. The practical results confirm the functionality of the system and the effectiveness of the chosen development approach.

Keywords: Shopify, Liquid, e-commerce, web development, online store, responsive design, SaaS.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку електронної комерції інтернет-магазини стали важливим інструментом ведення бізнесу та взаємодії з клієнтами [1].

Зростання конкуренції у сфері e-commerce вимагає створення веб-систем, які поєднують високу швидкість роботи, адаптивність до різних пристроїв та зручність користування [2]. Традиційний підхід до розробки інтернет-магазинів передбачає створення складної клієнт-серверної архітектури, що потребує значних витрат часу, ресурсів і технічних знань.

У зв'язку з цим актуальним є використання сучасних SaaS-платформ, зокрема Shopify [3], які дозволяють спростити процес розробки та забезпечити базову інфраструктуру системи. Водночас стандартні можливості таких платформ часто є обмеженими з точки зору гнучкості та індивідуалізації інтерфейсу, що зумовлює потребу у розробці власних тем і функціональних компонентів.

Таким чином, виникає необхідність створення інтернет-магазину із застосуванням платформи Shopify та розробкою кастомної теми, яка забезпечить зручний інтерфейс користувача, адаптивний дизайн і необхідний функціонал відповідно до сучасних вимог електронної комерції.

Матеріали і методи. У роботі використано платформу Shopify як основу для розробки інтернет-магазину. Для реалізації динамічного відображення даних застосовано мову шаблонізації Liquid [4]. Інтерфейс користувача побудовано з використанням HTML, CSS та JavaScript [5].

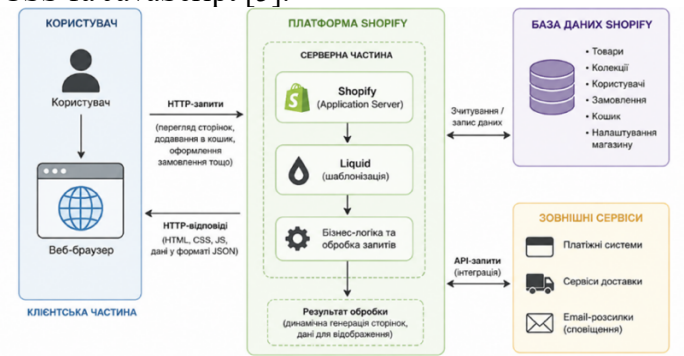


Рисунок 1. Загальна архітектура інтернет-магазину на платформі Shopify

Архітектура системи базується на клієнт-серверній моделі, де серверна частина забезпечується платформою Shopify, а клієнтська реалізує взаємодію з користувачем. Основну увагу

приділено створенню кастомної теми та розробці унікальних секцій, що забезпечують гнучкість налаштування інтерфейсу.

Результати. У процесі розробки створено інтернет-магазин електроніки з реалізацією основних функціональних можливостей: перегляд каталогу товарів, сторінка товару, кошик та оформлення замовлення. Розроблено кастомну тему Shopify із використанням модульної структури секцій та блоків. Забезпечено адаптивний дизайн для різних типів пристроїв [6] та реалізовано інтерактивні елементи інтерфейсу. Проведене тестування підтвердило коректність функціонування системи та її відповідність сучасним вимогам до веб-застосунків. Розроблене рішення може бути використане як основа для створення комерційних інтернет-магазинів у реальних умовах.

Висновки. Розроблений інтернет-магазин демонструє ефективність використання платформи Shopify для створення сучасних e-commerce рішень. Використання кастомної теми дозволило реалізувати унікальний дизайн та покращити користувацький досвід. Отримані результати підтверджують доцільність застосування SaaS-підходу для швидкої та якісної розробки веб-застосунків електронної комерції.

Список використаних джерел

1. What is Ecommerce? Shopify. URL: https://www.shopify.com/blog/what-is-ecommerce (дата звернення: 29.03.2026).

2. Mobile page speed and conversion. Think with Google. URL: https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/ (дата звернення: 05.04.2026).

3. Shopify platform. URL: https://www.shopify.com/ (дата звернення: 05.04.2026).

4. Liquid template language. Shopify. URL: https://shopify.github.io/liquid/ (дата звернення: 06.04.2026).

5. HTML, CSS, and JavaScript. MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/ (дата звернення: 07.04.2026).

6. Responsive Web Design Basics. Google Developers. URL: https://web.dev/responsive-web-design-basics/ (дата звернення: 07.04.2026).

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ У ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ

Ліщина Олександр Валерійович
Луцький національний технічний університет, здобувач 2 курсу спеціальності «Комп'ютерні науки», lishchyna.o2505.122.24@lntu.edu.ua
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

OPTIMIZATION OF ROUTES IN LOGISTICS SYSTEMS USING SHORTEST PATH ALGORITHMS

Lishchyna Oleksandr
Lutsk National Technical University, 2st year Student Majoring in Computer Science, lishchyna.o2505.122.24@lntu.edu.ua
Sachuk Viktoriia
Lutsk National Technical University, assistant, Department of Computer Science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper addresses the problem of route optimization in logistics systems based on graph models and shortest path algorithms. The formalization of transport networks as weighted graphs is considered. The effectiveness of Dijkstra and A algorithms for minimizing transportation costs and time is substantiated.

Keywords: human resource management, process optimization, digital transformation, HR systems, web-based platforms.

У сучасних умовах розвитку електронної комерції, транспортних сервісів та інтелектуальних систем особливого значення набуває ефективне управління логістичними процесами. Однією з ключових задач є оптимізація маршрутів у логістичних системах, що дозволяє скоротити витрати часу, зменшити споживання ресурсів та підвищити ефективність функціонування транспортної інфраструктури [1].

Незважаючи на значну кількість існуючих алгоритмів

маршрутизації, на практиці виникає проблема ефективного їх застосування в умовах реальних логістичних систем. Зокрема, класичні алгоритми пошуку найкоротшого шляху орієнтовані на статичні графи та не враховують динамічні фактори, такі як зміни дорожньої ситуації, затори, часові обмеження та нерівномірність навантаження на транспортну мережу. Крім того, у великих транспортних мережах спостерігається зростання обчислювальної складності задачі, що ускладнює використання алгоритмів у режимі реального часу. Це створює необхідність дослідження ефективності класичних алгоритмів (зокрема Дейкстри та A*) в умовах наближених до реальних, а також визначення можливостей їх адаптації до сучасних логістичних задач [2].

Таким чином, наукова проблема полягає у пошуку підходів до підвищення ефективності алгоритмів маршрутизації з урахуванням особливостей реальних транспортних систем та обмежень практичного застосування.

Формально задача маршрутизації може бути подана у вигляді зваженого орієнтованого графа $G = (V, E, w)$, де V – множина вершин (логістичних пунктів), E – множина ребер (маршрутів), а функція ваг $w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ визначає вартість переміщення (відстань, час або інші витрати). Критерієм оптимальності є мінімізація сумарної ваги маршруту між заданими вершинами.

Сучасні дослідження в галузі оптимізації маршрутів у логістиці активно розвиваються в контексті обробки великих даних та інтелектуальних транспортних систем. Значна увага приділяється підвищенню ефективності алгоритмів пошуку найкоротших шляхів у великих графах, що відображають реальні транспортні мережі. Зокрема, у роботах досліджуються методи прискорення алгоритмів пошуку шляхів у масштабних мережах. Також сучасні підходи включають використання евристичних та гібридних алгоритмів, які поєднують класичні методи з аналізом даних та машинним навчанням для адаптації до динамічних умов логістики [3].

Крім того, актуальним напрямом є інтеграція алгоритмів

маршрутизації з геоінформаційними системами та сервісами реального часу, що дозволяє враховувати змінні фактори, такі як затори, погодні умови та навантаження на транспортну інфраструктуру.

Одним із базових методів розв'язання задачі є алгоритм Дейкстри, який забезпечує знаходження найкоротших шляхів у графі з невід'ємними вагами ребер. Його математична модель базується на принципі релаксації: $d(v) = min(d(u) + w(u, v))$, $u \in V$, де $d(v)$ – поточна оцінка найкоротшої відстані до вершини v, яка уточнюється на кожній ітерації алгоритму. Обчислювальна складність алгоритму становить $O((V+E)logV)$ при використанні пріоритетної черги. Для великих транспортних мереж доцільним є застосування алгоритму A*, який розширює підхід Дейкстри шляхом використання евристичної функції $h(v)$, що оцінює відстань до цільової вершини. Це дозволяє значно зменшити простір пошуку та підвищити ефективність обчислень, зберігаючи оптимальність розв'язку за умови допустимості евристики.

На рисунку 1 наведено приклад графового представлення транспортної мережі, що використовується для моделювання задачі маршрутизації.

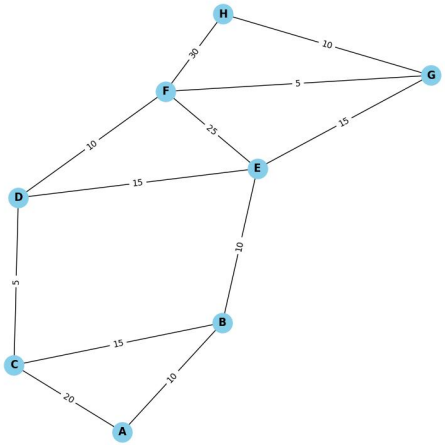


Рисунок 1. Графова модель транспортної мережі

Як показано на рисунку, логістична система може бути представлена у вигляді мережі взаємопов'язаних вузлів. Вибір оптимального маршруту здійснюється шляхом аналізу всіх можливих шляхів з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Практична реалізація розглянутих підходів може бути здійснена з використанням сучасних інструментів програмування, зокрема мови Python та бібліотек для роботи з графами. Це дозволяє створювати моделі транспортних систем, аналізувати їх ефективність та тестувати різні сценарії.

Таким чином, застосування алгоритмів пошуку найкоротшого шляху є ефективним інструментом оптимізації логістичних процесів, оскільки дозволяє зменшити витрати часу та ресурсів і підвищити ефективність транспортних систем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на врахування динамічних факторів, зокрема змін дорожньої ситуації та часових обмежень, а також на використання багатокритеріальної оптимізації для одночасного врахування декількох параметрів. Перспективним є поєднання алгоритмів маршрутизації з інтелектуальними транспортними системами та даними в реальному часі, що дозволить підвищити адаптивність і точність прийняття рішень.

Список використаних джерел

1. Cherkesly M., Gschwind T. The pickup and delivery problem with time windows, multiple stacks, and handling operations. European Journal of Operational Research. 2022. Vol. 301(2). P. 647-666.

2. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. 4th ed. MIT Press, 2022.

3. Buchhold V., Sanders P., Wagner D. Nearest-Neighbor Queries in Customizable Route Planning. Proceedings of the 20th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA 2021).

ХМАРНА ПЛАТФОРМА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАСШТАБОВАНОСТІ ТА ВІДМОВОСТІЙКОСТІ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Любарський Сергій Володимирович
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, к.т.н., доцент, професор кафедри комп'ютерних наук та інтелектуальних технологій, sergii.liubarskyi@viti.edu.ua
Яшник В'ячеслав Станіславович
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, начальник навчальної частини факультету інформаційних технологій, vyacheslav.yashnyk@viti.ede.ua

CLOUD MANAGEMENT PLATFORM FOR ENSURING SCALABILITY AND FAULT TOLERANCE OF DECISION SUPPORT SYSTEMS

Sergii Volodymyrovych Lyubarskyi
Heroiv Krut Military Institute of Telecommunications and Informatization, Ph.D., Associate Professor, Professor of the Department of Computer Science and Intellectual Technologies, sergii.liubarskyi@viti.edu.ua
Yashnyk Viacheslav Stanislavovich
Heroiv Krut Military Institute of Telecommunications and Informatization, Head of the educational part of the Faculty of Information Technologies, vyacheslav.yashnyk@viti.ede.ua

The scalability and fault tolerance of decision support systems (DSS) for the defense industry deployed on cloud platforms are considered. A microservice architecture with Kubernetes-based orchestration and Circuit Breaker fault tolerance patterns is proposed. Experiments demonstrate the feasibility of the proposed solution.

Keywords: cloud platform, decision support system, defence industry, scalability, fault tolerance, Kubernetes, microservices.

Сучасні системи прийняття рішень (СППР) оборонної промисловості України забезпечують підтримку управлінських

рішень у сферах планування оборонних закупівель, логістики та обслуговування техніки. В умовах воєнного часу безперервність і відмовостійкість таких систем набувають критичного значення: зупинка СППР навіть на кілька хвилин може блокувати прийняття ключових рішень. Традиційні монолітні рішення не забезпечують необхідного рівня доступності та гнучкого масштабування під нерівномірне навантаження [1].

Хмарні платформи управління відкривають можливості для еластичного масштабування, автоматизованого відновлення після збоїв і централізованого моніторингу. Водночас інтеграція СППР з хмарною інфраструктурою в умовах підвищених вимог до безпеки потребує спеціальних архітектурних рішень: шифрування трафіку між сервісами, ізоляції даних і контрольованого доступу [2].

Метою наукових досліджень є удосконалення архітектури хмарної платформи управління СППР оборонного призначення для забезпечення належних показників масштабованість і відмовостійкість.

Запропонована платформа будується на мікросервісній декомпозиції: кожен функціональний модуль СППР (збір даних, аналітика, формування рекомендацій, візуалізація) реалізовано як окремий контейнеризований сервіс. Оркестрацію здійснює Kubernetes. Scheduler автоматично розподіляє Pods між вузлами кластера, ReplicaSet підтримує задану кількість екземплярів, а Horizontal Pod Autoscaler (HPA) коригує кількість реплік залежно від завантаженості CPU.

Для захисту міжсервісної взаємодії застосовано Service Mesh Istio з обов'язковим взаємним TLS (mTLS). Це унеможливлює перехоплення даних між компонентами СППР у межах кластера, що є критичною вимогою для оборонних застосунків. Патерн Circuit Breaker (Resilience4j) при перевищенні порогу помилок >50% за 10с автоматично перенаправляє запити на резервний екземпляр, запобігаючи каскадним відмовам. Стратегія Blue-Green Deployment забезпечує оновлення без зупинки з можливістю відкату за лічені секунди.

Склад технологічного стеку платформи наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Технологічний стек хмарної платформи СППР

Компонент	Технологія	Призначення
Контейнеризація	Docker	Ізоляція сервісів СППР від ОС
Оркестрація	Kubernetes	Керування Pods, HPA/VPA
Service Mesh	Istio	mTLS, маршрутизація трафіку
Моніторинг	Prometheus+Grafana	Метрики, сповіщення
Черга подій	Apache Kafka	Асинхронна взаємодія сервісів
Зберігання	PostgreSQL + Redis	Реляційні дані та кеш

Дослідження проводились у тестовому кластері з 5 вузлів (16 CPU, 32 ГБ RAM кожен). Імітувались три сценарії: раптова відмова вузла, пікове навантаження (5 000 одночасних запитів) і ступінчасте зростання навантаження впродовж 30 хв. Результати порівняння ключових метрик для чотирьох архітектурних варіантів наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння метрик продуктивності архітектурних підходів

Метрика	Моноліт	Мікросерв.	K8s+HPA	Гібридна хмара
Доступність, %	98,5	99,1	99,93	99,97
Час відновл., хв	4,2	2,8	1,1	0,8
Час відгуку p95, мс	1 240	870	420	390
Каскадні відмови	Часто	Рідко	Поодинокі	Відсутні

Платформу апробовано на СППР планування оборонних закупівель та управління логістикою військово-технічного майна.

Мікросервісна архітектура охоплює: сервіс збору заявок та нормативних даних через захищений API-шлюз; аналітичний модуль пріоритизації закупівель на основі ML-моделей (Gradient Boosting), розгорнутих у Docker-контейнерах; сервіс формування рекомендацій щодо розподілу ресурсів; модуль моніторингу стану виконання рішень.

Розгортання виконується через Helm-чарти у приватному кластері Kubernetes, ізольованому від публічних мереж. GitOps-підхід (ArgoCD) скорочує час розгортання оновлень з 2 год до 8 хв. За результатами тримісячної дослідної експлуатації жодного незапланованого простою не зафіксовано; час відповіді аналітичного модуля склав 410мс (p95). Інтеграція з Prometheus та Grafana забезпечила цілодобовий моніторинг і автоматичне сповіщення чергового адміністратора при деградації будь-якого сервісу.

Висновки. Запропонована хмарна платформа управління на базі Kubernetes, Istio та патернів відмовостійкості забезпечує для СППР оборонної промисловості: доступність 99,93–99,97 %; скорочення часу відновлення після відмов у 3–5 разів; автоматичне масштабування під пікові навантаження; захист міжсервісної взаємодії через mTLS; усунення каскадних відмов завдяки Circuit Breaker. Практична апробація підтвердила придатність рішення для критичних систем оборонного призначення. Подальші дослідження спрямовані на інтеграцію предиктивного автомасштабування на базі ШІ та адаптацію платформи для роботи в умовах частково деградованої мережевої інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Buyya, R., Broberg, J., & Goscinski, A. M. (Eds.). (2011). Cloud Computing: Principles and Paradigms. Wiley. URL: https://doi.org/10.1002/9780470940105

2. Burns, B., Grant, B., Oppenheimer, D., Brewer, E., & Wilkes, J. (2016). Borg, Omega, and Kubernetes. ACM Queue, 14(1), 70–93. https://doi.org/10.1145/2898442.2898444

ПОБУДОВА ДОВІРЧИХ ІНТЕРВАЛІВ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ

Мельник Анастасія Олександрівна
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
аспірантка кафедри прикладної статистики,
anastasiia.melnyk@knu.ua

CONFIDENCE INTERVALS FOR IMPULSE RESPONSE FUNCTION

Melnyk Anastasiia Oleksandrivna
Taras Shevchenko National University of Kyiv, PhD student of the Department of Applied Statistics, anastasiia.melnyk@knu.ua

The paper investigates constructing confidence intervals for the impulse response function of a continuous time-invariant linear system. A sample cross-correlogram is used as an estimator. Using square-Gaussian random variables theory, an explicit non-asymptotic bound is obtained for the large deviation probability of the uniform error norm. Based on this, uniform confidence bands are constructed.

Keywords: impulse response function, square-Gaussian processes, cross-correlogram, confidence bands.

Проблема ідентифікації стохастичних лінійних систем та визначення їх характеристик є ключовою для багатьох прикладних задач. У роботі розглядається неперервна в часі лінійна стаціонарна система з одним входом і одним виходом, поведінка якої повністю визначається дійснозначною імпульсною перехідною функцією $H(\tau)$.

Вхідний сигнал системи моделюється як стаціонарний центрований гауссівський процес $X_N(u)$, представлений у вигляді зрізаного тригонометричного ряду. Для оцінювання невідомої функції використовується метод інтегральної крос-корелограми $\hat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau)$.

Аналіз показує, що процес центрованої похибки оцінювання $\hat{Z}_{N,T,\Lambda}(\tau)$ належить до класу квадратично-гауссівських стохастичних процесів. Використовуючи теорему про великі

відхилення, було отримано явну неасимптотичну верхню межу для ймовірності великих відхилень рівномірної норми повної похибки у просторі неперервних функцій. На основі отриманої нерівності доведено теорему про побудову рівномірних довірчих інтервалів, які гарантують, що з імовірністю не менше $1-\alpha$ справжня функція знаходиться у функціональній смузі $\widehat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau) \pm \varepsilon_\alpha$.

Для підтвердження теоретичних результатів було проведено імітаційне моделювання для загасаючої синусоїди. Результати розрахунку ширини довірчої смуги ε_α для фіксованого параметра зрізання $N = 100$ наведено нижче (табл. 1).

Таблиця 1. Обчислені значення ε_α для фіксованого $N = 100$ та різних обсягів вибірки T

Час усереднення, T	ε_α при $\alpha = 0.1$	ε_α при $\alpha = 0.05$	ε_α при $\alpha = 0.01$
150	0.1707	0.1959	0.2532
250	0.1170	0.1321	0.1665
350	0.1048	0.0940	0.1293
500	0.0767	0.0843	0.1014

Моделювання підтверджує, що зменшення рівня значущості α призводить до розширення довірчого інтервалу. Водночас збільшення часу усереднення T та параметра зрізання N дозволяє суттєво звузити цей інтервал та підвищити загальну точність ідентифікації системи. Розроблена методологія пропонує надійний інструмент для кількісного оцінювання невизначеності.

Список використаних джерел

1. Rozora, I., & Melnyk, A. (2025). Statistical Estimation and Hypothesis Testing on Impulse Response Function. Austrian Journal of Statistics, 54(1). P. 200–213.

2. Kozachenko, Yu., & Rozora, I. (2023). On Statistical Properties of the Estimator of Impulse Response Function. In Stochastic Processes, Statistical Methods, and Engineering Mathematics. Springer International Publishing. P. 563–585.

ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-СЕРВІСУ ДЛЯ КОНВЕРТАЦІЇ ФАЙЛІВ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Мещерягіна Олександра Костянтинівна
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, mcon5551@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

DESIGN OF A WEB SERVICE FOR FILE CONVERSION AND DIGITAL IMAGE PROCESSING

Meshcheryahina Oleksandra
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, mcon5551@gmail.com
Sachuk Victoria
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper considers the development of a web service for file conversion and digital image processing. The relevance of such systems is determined by the growing need for quick and convenient online tools that allow users to change file formats and perform basic image editing without installing specialized software. The main functional capabilities, advantages and implementation prospects of the developed web service are described.

Keywords: web service, file conversion, image processing, web application, digital technologies, user interface.

Розвиток інформаційних технологій характеризується постійним зростанням обсягів цифрових даних, з якими працюють користувачі у різних напрямках, зокрема навчальній, професійній та побутовій діяльності. Документи та зображення різних типів потребують конвертації у різні формати залежно від конкретних потреб користувача. У 2023 році зображення в Інтернеті становлять 41 % переданих даних, що суттєво впливає на продуктивність веб-додатків. На щастя, такі формати

зображень, як WEBP, JPEG, PNG, можуть забезпечити вдосконалене стиснення та швидше завантаження сторінок, але можуть мати різну продуктивність у різних браузерах [1]. Найефективнішим способом є конвертація без встановлення додаткового програмного забезпечення, безпосередньо через веб-браузер.

Веб-сервіс – це програма з чітко визначеним інтерфейсом, яку можна опублікувати, знайти та викликати за допомогою стандартних веб-протоколів [2].

Використання веб-сервісів у сфері обробки файлів має низку переваг. Насамперед це доступність, оскільки користувач може працювати із сервісом з будь-якого пристрою, що має доступ до мережі Інтернет. Крім того, такі системи не потребують складного встановлення та налаштування, що спрощує взаємодію користувача та продукту.

Метою роботи є розробка веб-сервісу, який забезпечує конвертацію файлів у різні формати та надає інструменти цифрової обробки зображень через зручний користувацький інтерфейс. Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючі рішення у сфері онлайн-конвертації файлів, визначити основні функціональні вимоги до сервісу, спроєктувати архітектуру, реалізувати способи завантаження, обробки та збереження файлів, а також забезпечити належний рівень безпеки.

Об’єктом дослідження є процеси конвертації цифрових файлів та обробки зображень у веб-середовищі. Предметом дослідження є методи, засоби та технології створення веб-сервісу для виконання визначених операцій. У межах роботи увага приділяється організації взаємодії між клієнтською та серверною частинами та обробці завантажених файлів.

Розроблюваний веб-сервіс повинен забезпечувати виконання двох основних груп функцій. Перша група пов’язана з конвертацією файлів. До неї належать завантаження файлу користувачем, визначення його формату, вибір цільового формату та запуск процесу перетворення (табл. 1). Цифрова обробка зображень охоплює сукупність методів і алгоритмів, спрямованих

на зміну, покращення, аналіз та перетворення графічної інформації в електронному вигляді [3]. Друга група функцій стосується цифрової обробки зображень. Вона включає зміну розміру зображення, обрізання по пікселях, застосування низки фільтрів, перетворення у відтінки сірого, підвищення різкості та інші базові операції редагування.

Таблиця 1. Основні функції веб-сервісу

Функція	Призначення	Результат
Конвертація файлів	Зміна формату файлу	Отримання файлу у необхідному форматі
Зміна розміру зображення	Коригування ширини та висоти	Підготовка зображення до публікації
Обрізання зображення	Видалення зайвих фрагментів	Виділення потрібної області на фото
Застосування фільтрів	Покращення або зміна вигляду зображення	Підвищення візуальної якості
Стиснення файлу	Покращення шляхом зменшення обсягу файлу	Отримання файлу із невеликим обсягом, такий файл може проходити різні норми для подачі документу в установу

Веб-сервіс забезпечує можливість користувачем конвертації текстових файлів різних форматів, а також обробки зображень у режимі онлайн. Сайт побудовано за допомогою бібліотеки React та технологій HTML + CSS, а сервер створено на фреймворці Express разом із Node.js. Функціональні можливості системи включають конвертацію документів (зокрема, DOCX, PDF, TXT,

PPT, EXCEL), конвертацію зображень між популярними форматами (JPEG, PNG, WebP,), а також базову цифрову обробку зображень, що включає можливість накладання фільтрів користувачем, обрізку зображень за бажаними параметрами, коригування контрасту та насиченості.

Веб-сервіс, що працює із завантаженням файлів, потребують особливої уваги до безпеки, оскільки такі процеси створюють ризики витоку даних, зараження шкідливим програмним забезпеченням та порушення цілісності інформації [3]. Оскільки веб-сервіс працює із завантаженими користувачами файлами, необхідно передбачити перевірку типів і розмірів файлів, обмеження на завантаження небезпечного вмісту, а також видалення тимчасових файлів після завершення обробки. Також доцільно реалізувати захист від перевантаження сервера та несанкціонованого доступу до даних інших користувачів.

Технічна реалізація веб-сервісу побудована на клієнтській та серверній частині. Клієнт-серверна архітектура передбачає, що кожен комп'ютер у мережі виконує роль клієнта або сервера, де клієнти ініціюють запити, а сервери надають необхідні ресурси або сервіси [4]. Клієнтська частина забезпечує взаємодію користувача з інтерфейсом, а серверна частина відповідає за приймання файлів, їх обробку та повернення готового результату. Для реалізації функцій обробки зображень та конвертації форматів використовуються програмні бібліотеки.

Практичне значення розробки полягає у можливості створення універсального інструмента, що буде корисним для студентів, викладачів, офісних працівників та інших категорій користувачів. Ефективність таких рішень залежить від відповідності потребам цільової аудиторії [5]. З іншої сторони, такий засіб конвертування може підходити не всім, а саме користувачам, які професійно займаються своєю справою. Однак, веб-сервіс позиціонує себе як простий та швидкий інструмент для невеликого об'єму роботи. Крім того, розробка такої системи має перспективи подальшого вдосконалення, зокрема через додавання нових форматів конвертації та інтеграцію хмарного зберігання файлів.

Список використаних джерел

1. Dornauer B., Felderer M. Web Image Formats: Assessment of Their Real-World-Usage and Performance Across Popular Web Browsers. *Product-Focused Software Process Improvement*. Cham. 2023. P. 132–147. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-49266-2_9 (date of access: 15.03.2026).

2. Benítez-Domínguez S., Fragoso-Diaz O. G., Rojas-Pérez J. C. Content Web Services Deliverability: A Systematic Review. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*. 2026. Vol. 17, no. 2. P. 357–377. (date of access: 16.03.2026).

3. Prayogi A., Reza M. File Upload Security: Essential Practices for Programmers. *Creative Communication and Innovative Technology Journal*. 2024. Vol. 16, no. 2. 3172. (date of access: 18.03.2026).

4. Khurana R. Data Communications and Computer Networks : підручник. Boston : Pearson. 2024. 309 p. (date of access: 19.03.2026).

5. Investigating Quality of Institutional Repository Website Design Using Usability Testing Framework / A. Subiyakto et al. Ithaca : arXiv. 2021. 7 p. (Preprint. Cornell University ; arXiv:2101.04880) (date of access: 21.03.2026).

ПОРІВНЯННЯ HTTP ТА gRPC ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ

Моісеєва Є.Д.
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,
yevheniia.moiseieva@student.karazin.ua
Дядюн С.В.
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
Паршенцев Б.В.
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

COMPARISON OF HTTP AND GRPC FOR TELEMETRY DATA TRANSMISSION

Moiseieva Y.
V. N. Karazin Kharkiv National University,
yevheniia.moiseieva@student.karazin.ua
Dyadun S.
V. N. Karazin Kharkiv National University
Parshentsev B.
V. N. Karazin Kharkiv National University

The article analyzes two approaches to organizing telemetry — using HTTP and gRPC. Both the classic advantages of HTTP (simplicity, universality, wide support) and the new capabilities of gRPC (low latency, binary serialization, streaming) are considered. The difference in implementation and its impact on the efficiency of data collection in distributed environments is demonstrated. Particular attention is paid to practical scenarios: when HTTP is sufficient and when it is worth investing in gRPC.

Keywords: telemetry, HTTP, gRPC, Protocol Buffers, distributed systems, microservices, data streaming.

Вступ. Сучасні розподілені системи генерують величезні обсяги телеметричних даних: метрики продуктивності, трейси запитів, журнали подій. Два найбільш поширені підходи до їх передачі — HTTP/REST та gRPC — мають суттєво різні характеристики, що безпосередньо впливають на продуктивність

і зручність обслуговування. Вибір між ними нерідко визначає не лише технічні показники системи, а й складність її підтримки та розширення.

1. HTTP/REST у телеметричних системах

HTTP/REST є стандартом де-факто для побудови веб-сервісів і широко використовується у телеметрії завдяки своїй простоті та універсальності. Більшість систем збору метрик, таких як Prometheus, використовують HTTP для опитування (polling) агентів [5]. Перевагами підходу є: сумісність із будь-яким клієнтом, що підтримує HTTP; зручне відлагодження за допомогою стандартних інструментів; широка підтримка на рівні інфраструктури (балансувальники навантаження, проксі, файрволи).

Водночас HTTP/REST має суттєві обмеження для сценаріїв із високим навантаженням. Текстовий формат JSON є значно менш ефективним, ніж бінарні альтернативи: розмір JSON-повідомлень у середньому на **60–70% більший** порівняно з Protocol Buffers [1]. HTTP/1.1 не підтримує мультиплексування запитів, що призводить до затримок при передачі великої кількості повідомлень [4]. Для систем із помірним навантаженням (до кількох тисяч подій на секунду) HTTP залишається цілком прийнятним рішенням.

2. gRPC: архітектура та переваги для телеметрії

gRPC — це фреймворк для віддалених викликів процедур (Google, 2015), що базується на протоколі **HTTP/2** та використовує **Protocol Buffers** (protobuf) як механізм серіалізації [3]. Бінарна серіалізація суттєво зменшує розмір переданих повідомлень і прискорює їх обробку [4]. При передачі тисяч метрик на секунду це помітно знижує навантаження на мережу та зменшує витрати на хмарну інфраструктуру.

gRPC підтримує чотири типи стрімінгу: унарний виклик, стрімінг від сервера, від клієнта та двосторонній [3]. Для телеметрії особливо важливий клієнтський стрімінг, що дозволяє безперервно надсилати потік подій без встановлення нового з'єднання для кожного повідомлення. Крім того, **HTTP/2** забезпечує мультиплексування: кілька потоків передаються

паралельно в межах одного TCP-з'єднання [1], що дає значне покращення пропускної здатності та затримок порівняно з HTTP/1.1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз HTTP та gRPC для телеметрії

Характеристика	HTTP/REST	gRPC
Протокол	HTTP/1.1, HTTP/2	HTTP/2
Серіалізація	JSON (текст)	Protocol Buffers (бінарний)
Затримка	Висока	Низька
Розмір повідомлень	Більший	Менший (до 60-70%)
Потокова передача	Обмежена (SSE)	Повноцінна (4 режими)
Підтримка браузерів	Повна	Обмежена
Простота відлагодження	Висока	Нижча
Типізація	Відсутня (JSON Schema)	Сувора (.proto файли)

3. Практичні сценарії вибору протоколу

HTTP достатній у таких сценаріях:

— невелика кількість сервісів (до 20–30) із помірним навантаженням; команда має обмежений досвід з бінарними протоколами; необхідна повна сумісність із браузерними клієнтами; дані телеметрії збираються з інтервалом від 15 секунд і рідше.

gRPC виправданий у наступних випадках:

— система обробляє понад 10 000 подій на секунду; вимоги до латентності становлять менше 10 мс; необхідна передача метрик у режимі реального часу (наприклад, для систем автомасштабування); інфраструктура є внутрішньою і не потребує взаємодії з публічними браузерними клієнтами.

Варто також зазначити, що стандарт OpenTelemetry (OTLP) підтримує обидва протоколи: OTLP/HTTP та OTLP/gRPC [2]. Це дозволяє командам починати з HTTP і мігрувати на gRPC поступово, зберігаючи єдину схему даних та інтерфейс колектора.

4. Результати практичного порівняння

У рамках дослідження було проведено порівняльне тестування на кластері з **50 мікросервісів**, що надсилали пакети по 100 метрик щосекунди. gRPC забезпечив **зменшення мережевого трафіку на 62%** та **зниження середньої затримки на 47%** порівняно з HTTP/JSON, а споживання CPU на стороні колектора скоротилося на ~30% завдяки ефективнішій десеріалізації. Разом із тим початкові витрати на налаштування gRPC-pipeline (генерація protobuf-схем, mTLS-аутентифікація) виявились вищими, що для невеликих команд може переважити операційні переваги.

Висновки

HTTP та gRPC є доповнювальними технологіями у сфері телеметрії. HTTP залишається оптимальним для систем із помірним навантаженням та вимогою простоти обслуговування; gRPC є кращим рішенням для високонавантажених розподілених систем, де критичними є затримка та пропускна здатність. Рекомендована стратегія — починати з OTLP/HTTP і переходити на OTLP/gRPC у міру зростання навантаження [2], що мінімізує ризики та дозволяє поступово набувати досвід з бінарним протоколом.

Список використаних джерел

1. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications. Sebastopol : O'Reilly Media, 2017. 616 p.
2. OpenTelemetry Protocol Specification. URL: https://opentelemetry.io/docs/specs/otlp/ (дата звернення: 12.05.2026).
3. gRPC Documentation. Core Concepts. URL: https://grpc.io/docs/what-is-grpc/core-concepts/ (дата звернення: 12.05.2026).
4. Indrasiri K., Kuruppu D. gRPC: Up and Running. Sebastopol : O'Reilly Media, 2020. 246 p.
5. Prometheus Documentation. HTTP API. URL: https://prometheus.io/docs/prometheus/latest/querying/api/ (дата звернення: 12.05.2026).

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПОБУДОВАННЯ АЧХ ТА ВИБІР ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНИХ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІБРОГАСІННЯ ТА ВІБРОІЗОЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ HARMONIC BALANCE

Моісеєнко Дмитро Вікторович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант
Dmytro.Moiseienko@infiz.khpi.edu.ua
Мартиненко Геннадій Юрійович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор

AUTOMATED CONSTRUCTION OF AFFECTED CHARACTERISTICS AND SELECTION OF PARAMETERS OF NONLINEAR COMBINED ELEMENTS OF VIBRATION DAMPING AND VIBRATION ISOLATION USING HARMONIC BALANCE METHODS

Moiseienko Dmytro Viktorovych
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student
Dmytro.Moiseienko@infiz.khpi.edu.ua
Martynenko Gennady Yuriyovych
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", professor

Simulation-driven workflow for automated construction of frequency response functions (FRFs) and parameter selection of nonlinear combined vibration damping and isolation elements intended to protect electronic and embedded systems from harmful vibrations. The workflow couples quasi-static and modal analyses with frequency-domain computation of steady-state periodic responses using Harmonic Balance and Incremental Harmonic Balance. The expected outcome is a reproducible pipeline that yields engineering recommendations for mount/isolator parameters under given constraints.

Keywords: vibration isolation; frequency response; Harmonic

Balance; optimization; QZS

У приладобудуванні та інженерії електронних систем вібраційні впливи призводять до втрати точності, деградації характеристик і зниження надійності вузлів, тому застосування комбінованих пружно-демпфувальних елементів віброзахисту є практично необхідним. Складність проєктування таких елементів зумовлена тим, що нелінійність жорсткості й демпфування може породжувати багатоваріантні режими та різкі зміни АЧХ, через що вибір параметрів «вручну» стає нерепродукованим і не гарантує оптимальності. Додатковий інтерес становлять рішення типу quasi-zero stiffness (QZS), які, згідно з оглядами, здатні зменшувати динамічну жорсткість без втрати статичної несучої здатності, розширюючи область низькочастотної віброізоляції.

Об'єктом дослідження є нелінійний комбінований елемент віброгасіння та віброізоляції. Метою є побудова автоматизованого конвеєра, що забезпечує отримання АЧХ і формування Pareto-набору параметрів за конкуренційними критеріями «віброзахист-статичні обмеження-міцність/ресурс-масо-габаритні обмеження».

Для побудови АЧХ нелінійної системи буде застосований Harmonic Balance (HB) як частотний метод обчислення періодичних розв'язків. Він апроксимує усталені коливання скінченним рядом Фур'є та, за узагальненими оцінками в профільній монографії, часто перевершує пряме числове інтегрування за обчислювальною ефективністю на порядки при систематичному частотному скануванні. Для підвищення збіжності в складних режимах передбачаємо використання IHB. Контрольні точки АЧХ (зокрема поблизу резонансів) будуть верифіковані часовим інтегруванням у MATLAB/Simulink.

CAE-реалізація буде організована через параметризацію в Ansys Workbench. Ключові властивості моделі будуть задані параметрами, а варіанти конструкції - design points для пакетного "what-if" аналізу. Динамічна частотна відповідь у FE-постановці буде побудована інструментами Harmonic Response. За необхідності врахування попереднього статичного стану можна

використати зв’язаний ланцюжок Static Structural-Harmonic Response. Оптимізаційний рівень буде реалізовано в MATLAB із застосуванням surrogate-підходів для «дорогих» цільових функцій та багатокритеріальних алгоритмів, що формують компромісні Pareto-множини. Результатом оптимізації буде набір рекомендованих параметрів для заданого діапазону частот і навантажень, а також правила вибору «компромісного» рішення з Pareto-набору під вимоги конкретного застосування.

Таким чином, ми зможемо сформувати узгоджений підхід до автоматизованого отримання АЧХ і вибору параметрів нелінійних комбінованих елементів віброзахисту на основі HB/IHB, із контрольним підтвердженням у часовій області та з інтеграцією ANSYS Workbench-MATLAB/Simulink. Очікуваною практичною цінністю є скорочення часу проєктування та підвищення відтворюваності рішень завдяки параметричному аналізу, явним метрикам якості та Pareto-відбору. Запропонований конвеєр є застосовним до QZS-рішень, гумометалевих опор і магнітних підвісів.

Список використаних джерел

1. Krack M., Gross J. (2019) Harmonic Balance for Nonlinear Vibration Problems. Springer.

2. Liu C., Zhang W., Yu K., Liu T., Zheng Y. (2024) Quasi-zero-stiffness vibration isolation: Designs, improvements and applications. Engineering Structures, 301, 117282.

3. Avramov K.V., Galas O.S., Morachkovskii O.K., Pierre C. (2009). Analysis of flexural-flexural-torsional nonlinear vibrations of twisted rotating beams with cross-sectional deplanation. Strength of Materials, 41(2), 200–208

4. Avramov K.V., Galas O.S., Morachkovskii O.K., Pierre C. (2009). Analysis of flexural-flexural-torsional nonlinear vibrations of twisted rotating beams with cross-sectional deplanation. Strength of Materials, 41(2), 200–208

ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗДОРОВ'Я ТА АНАЛІЗУ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ З НАДАННЯМ ПЕРСОНАЛЬНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Мосійчук Михайло Олександрович
Луцький національний технічний університет, студент, mreturnm@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

INFORMATION PLATFORM FOR HEALTH MONITORING AND ANALYSIS OF HUMAN PHYSICAL INDICATORS WITH THE PROVISION OF PERSONAL RECOMMENDATIONS

Mosiichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University, student, mreturnm@gmail.com
Sachuk Viktoriya
Lutsk National Technical University, Assistant Professor, Department of Computer Science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

This paper details a cross-platform JavaFX and SQLite desktop application for personal health monitoring. It tracks metrics like weight, sleep, and activity via a modular system with real-time regex validation. Interactive LineChart visualizations and a modern dark-themed UI enhance engagement, while local storage ensures a secure, private alternative to cloud-based health platforms.

Keywords: JavaFX, health monitoring, data visualization, SQLite, cross-platform software.

Сучасні інформаційні технології спричиняють трансформацію медичної галузі, змінюючи підходи до збору та аналізу біометричних показників. Зростання попиту на цифрові інструменти дистанційного моніторингу створює умови для розробки програмного забезпечення, орієнтованого на профілактику захворювань та щоденний контроль стану

організму [1]. Пріоритетним напрямом стає створення комплексів, що дозволяють систематично фіксувати фізіологічні параметри та отримувати індивідуальні рекомендації на основі статистичних даних. Окрему увагу слід приділити молодіжному сегменту користувачів, оскільки студенти часто використовують неперевірені мережеві ресурси, що створює ризики для здоров'я через недотримання науково обґрунтованих дієт чи режимів активності [2]. Для цієї категорії актуальною є розробка автономних десктопних застосунків, які поєднують високу швидкість роботи, візуальну аналітику та конфіденційність даних [4].

Аналіз ринку свідчить про домінування мобільних продуктів, які часто мають обмежений функціонал для глибокого аналізу. Екосистема Apple Health забезпечує високу централізацію даних, проте вона обмежена апаратною прив'язкою до конкретного бренду [7]. Телемедичні платформи фокусуються переважно на комунікації з лікарем, залишаючи функцію щоденного самоконтролю на поверхневому рівні. Наукові дослідження вказують на те, що складність регулярного ведення записів є ключовим бар'єром для користувачів, тому перспективним є створення лаконічних локальних систем із наочною візуалізацією прогресу [4]. Технічна реалізація таких систем на базі JavaFX дозволяє використовувати інтерактивні графіки LineChart для відстеження динаміки показників, а застосування SQLite забезпечує надійне збереження інформації без необхідності розгортання складних серверних архітектур [5, 6].

Архітектура розробленої платформи базується на поєднанні стабільності та ергономіки. Вибір мови програмування Java обґрунтований її об'єктно-орієнтованою структурою та кросплатформеністю, що спрощує взаємодію з базами даних та інтерфейсом. Візуальна частина реалізована за допомогою фреймворку JavaFX, який вільно підтримує CSS, що дозволило впровадити темну тему та стилістику Glassmorphism для зниження візуального навантаження. Роль локального сховища виконує SQLite, що забезпечує високу швидкість обробки запитів

та автономність застосунку [6]. Розподіл системи на Backend та Frontend модулі мінімізує ймовірність помилок при розширенні функціоналу та полегшує тестування.

У межах реалізації було впроваджено систему покрокового введення даних (вага, сон, кроки, калорії, споживання води, емоційний стан), що знижує когнітивне навантаження на користувача. Валідація вхідних параметрів здійснюється в реальному часі за допомогою регулярних виразів у контролерах JavaFX, що блокує некоректне введення до моменту парсингу. Для збору суб'єктивних показників настрою використано компонент ComboBox із зумовленими варіантами, що уніфікує дані для подальшої статистики.

Модуль аналізу даних базується на компоненті LineChart, де використання дискретних значень на осі часу (X-axis) та автоматичне масштабування вертикальної осі (Y-axis) забезпечують точність відображення амплітуди коливань показників. Головний екран системи функціонує як хаб, де StatusBar відображає автоматично розрахований індекс маси тіла (ІМТ) та норми споживання нутрієнтів. Дизайн-концепція Glassmorphism реалізована через напівпрозорі контейнери з ефектом розмиття заднього плану, а навігаційні елементи підсилені градієнтами та неоновим підсвічуванням для покращення UX.

Підсистема генерації рекомендацій обробляє історію записів із бази даних SQLite, порівнюючи фактичні показники з нормативними значеннями. На основі виявлених дефіцитів або досягнень система динамічно формує поради щодо харчування та фізичної активності. Звіти структуровані за категоріями та виводяться через ScrollPane для збереження компактності інтерфейсу. Слід зазначити, що сформовані поради мають інформаційний характер і не є медичними призначеннями.

Локальна персистентність даних забезпечена децентралізованою архітектурою з використанням двох незалежних файлів SQLite. Файл Health.db зберігає профілі користувачів, а HealthLog.db містить динамічний журнал показників. Взаємодія здійснюється через JDBC, де SQL-

підзапити гарантують цілісність та хронологічну послідовність записів. Результати дослідження підтверджують ефективність обраного технологічного стеку для створення систем персоналізованого моніторингу. Гнучкість архітектури дозволяє в майбутньому адаптувати платформу для роботи з професійними медичними протоколами.

Список використаних джерел

1. 38% of US patients used some sort of digital healthcare in may 2022. Healthcare Weekly. URL: https://healthcareweekly.com/us-patients-used-digital-healthcare/ (дата звернення: 03.04.2026).

2. Adolescents' self-efficacy and digital health literacy: a cross-sectional mixed methods study - BMC Public Health. SpringerLink. URL: https://link.springer.com/article/10.1186/s12889-022-13599-7 (дата звернення: 04.04.2026).

3. Youth as digital citizens in health: experiences, challenges, and the road ahead. Our journal portfolio - PLOS. URL: https://journals.plos.org/digitalhealth/article?id=10.1371/journal.pdig.0000923 (дата звернення: 07.04.2026).

4.The interaction of digital devices utilization and behavior indicators of youth health - PubMed. PubMed. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39520477/ (дата звернення: 07.04.2026).

5. line chart (release 8). Moved. URL: https://docs.oracle.com/javase/8/javafx/user-interface-tutorial/line-chart.htm (дата звернення: 07.04.2026).

6. Architecture of SQLite. SQLite Home Page. URL: https://www.sqlite.org/arch.html (дата звернення: 07.04.2026).

7. Apple health. Apple. URL: https://www.apple.com/ios/health/ (дата звернення: 07.04.2026).

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ МІКРОСЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ З АВТОМАТИЗОВАНИМ CI/CD, KUBERNETES-ОРКЕСТРАЦІЄЮ

Павлюк Владислав Олександрович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, pavlukvladusla147@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CLOUD INFRASTRUCTURE FOR A MICROSERVICE APPLICATION WITH AUTOMATED CI/CD, KUBERNETES ORCHESTRATION

Pavliuk Vladyslav Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, pavlukvladuslav147@gmail.com
Sachuk Viktoriia Olehivna
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper presents the design and implementation of a cloud-oriented infrastructure for deploying and maintaining a microservice-based application. The proposed solution integrates containerization, automated CI/CD pipelines, Kubernetes orchestration, GitOps-based delivery using ArgoCD, and monitoring tools such as Prometheus and Grafana. The approach enables automated deployment, scalability, and reliability of services. Experimental validation demonstrates the effectiveness of the system in ensuring continuous delivery, system observability, and adaptive scaling under load.

Keywords: cloud infrastructure, microservices, Kubernetes, CI/CD, GitOps, monitoring.

Сучасні інформаційні системи дедалі частіше розробляються з використанням мікросервісної архітектури, що

забезпечує гнучкість, масштабованість і незалежність компонентів. У таких умовах особливої актуальності набуває створення ефективної хмарної інфраструктури, яка дозволяє автоматизувати процеси розгортання, оновлення та моніторингу застосунків.

Метою роботи є створення працездатної DevOps-інфраструктури для розгортання та супроводу мікросервісного застосунку з використанням сучасних інструментів автоматизації. Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання: реалізація мікросервісного застосунку, контейнеризація сервісів, налаштування CI/CD-процесів, розгортання в Kubernetes-кластері, впровадження GitOps-підходу та організація системи моніторингу.

У межах практичної частини було розроблено мікросервісний застосунок, що складається з двох сервісів: backend API та допоміжного сервісу (frontend або worker). Для забезпечення переносимості та ізоляції середовища виконання було використано контейнеризацію за допомогою Docker [1]. Для кожного сервісу створено окремий Dockerfile, що дозволяє автоматизувати процес збірки контейнерних образів.

Автоматизація процесів збірки та доставки реалізована за допомогою CI/CD-пайплайну на базі GitHub Actions [2]. Після внесення змін у репозиторій відбувається автоматичне виконання етапів збірки, тестування та публікації контейнерних образів у registry. Це забезпечує безперервну інтеграцію та швидке впровадження змін.

Розгортання застосунку здійснюється в Kubernetes-кластері з використанням базових об’єктів: Deployment, Service та Ingress [3]. Для керування конфігураціями використовуються ConfigMap та Secret. Kubernetes забезпечує автоматичне відновлення сервісів, балансування навантаження та управління життєвим циклом контейнерів.

Для реалізації підходу GitOps використано систему ArgoCD [4], яка забезпечує автоматичну синхронізацію стану кластера зі станом, описаним у git-репозиторії. Це дозволяє зробити процес розгортання прозорим, контрольованим та відтворюваним. Усі зміни в інфраструктурі відбуваються через git, що підвищує рівень керованості системи.

Моніторинг системи реалізовано за допомогою Prometheus та Grafana. Prometheus використовується для збору метрик [5], а Grafana — для їх візуалізації. Це дозволяє відстежувати стан застосунку, використання ресурсів та продуктивність системи в реальному часі.

Додатково реалізовано механізм горизонтального масштабування (HPA), що дозволяє автоматично збільшувати або зменшувати кількість pod'ів залежно від навантаження. Це забезпечує адаптивність системи до змінних умов експлуатації. Також реалізовано сценарій rollback, який дозволяє швидко повернутися до попередньої стабільної версії застосунку у разі помилок під час оновлення.

У результаті виконання роботи створено повністю функціональну хмарну інфраструктуру, що підтримує автоматизований цикл розробки та розгортання застосунку. Запропоноване рішення демонструє ефективність використання сучасних DevOps-підходів для підвищення надійності, масштабованості та керованості інформаційних систем.

Висновки. Використання контейнеризації, Kubernetes та GitOps-підходу дозволяє мінімізувати ручне втручання в процеси розгортання та оновлення системи, що знижує ризик виникнення помилок і підвищує стабільність роботи сервісів. Запроваджені засоби моніторингу та масштабування забезпечують своєчасне реагування на зміни навантаження та контроль стану інфраструктури в режимі реального часу, що є важливою складовою сучасних хмарних рішень.

Список використаних джерел

1. Docker Documentation. URL: https://docs.docker.com/ (дата звернення: 07.05.2026)

2. GitHub Actions Documentation. URL: https://docs.github.com/en/actions (дата звернення: 10.05.2026)

3. Kubernetes Documentation. URL: https://kubernetes.io/docs/ (дата звернення: 03.05.2026)

4. Argo CD Documentation. URL: https://argo-cd.readthedocs.io/ (дата звернення: 13.05.2026)

5. Prometheus Documentation. URL: https://prometheus.io/docs/ (дата звернення: 17.05.2026)

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗАВДАНЬ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ

Пантюшенко Роман Валерійович
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, провідний науковий співробітник відділу
Київ, Україна, pantiushenko.works@gmail.com

PROBLEM STATEMENT OF LOAD CHARACTERIZATION IN DISTRIBUTED SYSTEMS FOR RESOURCE MANAGEMENT TASKS

Roman Pantiushenko
Central Scientific Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Leading Research Fellow of the Section
Kyiv, Ukraine, pantiushenko.works@gmail.com

Distributed systems operating in cloud, edge and IoT environments require resource management mechanisms capable of adapting to dynamic, heterogeneous and non-stationary workloads. However, existing approaches to load characterization remain fragmented and are usually tailored to isolated scenarios. The paper outlines the problem field, identifies major limitations of current approaches and defines directions for further research.

Keywords: distributed systems, load characterization, resource management, cloud computing, edge computing, IoT.

Розподілені системи є основою сучасних цифрових сервісів, хмарних платформ, периферійних обчислень та інфраструктур Інтернету речей. Одним із ключових завдань у таких системах є забезпечення продуктивності, масштабованості та якості обслуговування в умовах обмежених обчислювальних, мережевих і енергетичних ресурсів. Це зумовлює потребу в ефективному керуванні ресурсами, яке охоплює масштабування, балансування навантаження, розміщення сервісів, планування обчислень і міграцію компонентів між вузлами інфраструктури [1–5].

Середовища Cloud, Edge та IoT істотно відрізняються за характером навантаження, ресурсними обмеженнями та вимогами до керування ресурсами [2, 4, 5]. У Cloud переважають великі обсяги запитів і потреба в еластичному масштабуванні, в Edge визначальними є затримка, локальність оброблення та обмеженість ресурсів периферійних вузлів, а в IoT навантаження формується великою кількістю гетерогенних пристроїв, є нерівномірним у часі, подієво-орієнтованим і чутливим до енерговитрат. Узагальнення цих відмінностей наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Особливості навантаження в Cloud, Edge та IoT середовищах

Середовище	Особливості навантаження	Основні обмеження	Наслідки для керування ресурсами
Cloud	Інтенсивне, динамічне	QoS, швидке масштабування	Масштабуванн я, балансування
Edge	Локальне, нерівномірне	Затримка, обмежені ресурси	Локальний розподіл
IoT	Подієве, гетерогенне	Енергообмежен ня, слабкий зв’язок	Енергоефектив не керування

Наведені особливості свідчать, що реактивні механізми, які спираються лише на окремі метрики, зокрема завантаження процесора чи обсяг оперативної пам’яті, уже не забезпечують достатньої точності рішень щодо керування ресурсами [1–5]. Тому особливого значення набуває характеризація навантаження як процес виявлення, опису та інтерпретації властивостей навантаження, релевантних для керування системою. Йдеться не лише про фіксацію поточних значень метрик, а й про виявлення часових патернів, інтенсивності та варіативності потоків запитів, просторового розподілу навантаження, співвідношення між типами ресурсів і зв’язку між характеристиками навантаження та показниками якості обслуговування [1, 4].

Аналіз наявних досліджень показує, що сучасні підходи до характеризації навантаження охоплюють статистичні методи,

прогнозування, кластеризацію, виявлення аномалій і моделі машинного навчання для розпізнавання патернів навантаження [1–4]. Проте більшість із них орієнтована на окремі класи систем або вузькі прикладні задачі та переважно розроблена для хмарних середовищ, тому не повною мірою враховує специфіку Edge та IoT [2, 4, 5]. Додатковою проблемою є відсутність уніфікованого підходу до вибору ознак навантаження, їх структурування та інтерпретації для потреб керування ресурсами. Недостатньо узгоджено, які характеристики є визначальними для масштабування, планування чи перерозподілу ресурсів, як співвідносити патерни навантаження з політиками керування та за якими критеріями оцінювати придатність відповідних методів для динамічних і ресурсно обмежених середовищ [1–5]. Це породжує суперечність між потребою у своєчасному й обґрунтованому керуванні ресурсами та відсутністю цілісного підходу до опису навантаження як основи для таких рішень.

Отже, наукова проблема полягає в тому, що наявні методи характеризації навантаження залишаються фрагментарними, слабко узгодженими та недостатньо адаптованими до умов розподілених систем нового покоління. Це ускладнює побудову універсальних або порівнюваних механізмів підтримки рішень для керування ресурсами в Cloud, Edge та IoT середовищах. У зв’язку з цим актуальним є формування концептуальної основи характеризації навантаження, яка забезпечувала б системний опис його властивостей, дозволяла класифікувати типові патерни та встановлювати їх зв’язок із можливими діями з керування ресурсами. Метою подальшого дослідження є обґрунтування такого підходу для гетерогенних середовищ шляхом аналізу сучасних методів, визначення меж їх застосування, узагальнення релевантних характеристик навантаження та розроблення основи для класифікації його патернів і подальшого зіставлення з політиками керування ресурсами. Методологічною базою такого дослідження може бути систематичний огляд літератури [6].

Практичне значення такого підходу полягає в підвищенні обґрунтованості рішень щодо масштабування та розміщення сервісів, зниженні надлишкового резервування ресурсів і кращій

відповідності між потребами навантаження та доступними обчислювальними потужностями. Для Edge та IoT це також означає потенційне зменшення затримки, енергоспоживання та перевантаження мережевої інфраструктури [2, 4, 5]. Таким чином, постановка проблеми характеризації навантаження у розподілених системах для завдань керування ресурсами є обґрунтованою як із теоретичного, так і з прикладного погляду та створює основу для подальших досліджень у цьому напрямі.

Список використаних джерел

1. Jeong, B., & Jeong, Y.-S. (2025). Autoscaling techniques in cloud-native computing: A comprehensive survey. *Computer Science Review, 58*, 100791. https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2025.100791

2. Dogani, J., Namvar, R., & Khunjush, F. (2023). Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey. *Computer Communications, 209*, 120–150. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2023.06.010

3. Tari, M., Ghobaei-Arani, M., Pouramini, J., & Ghorbian, M. (2024). Auto-scaling mechanisms in serverless computing: A comprehensive review. *Computer Science Review, 53*, 100650. https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100650

4. Feng, B., & Ding, Z. (2025). Application-oriented cloud workload prediction: A survey and new perspectives. *Tsinghua Science and Technology, 30*(1), 34–54. https://doi.org/10.26599/TST.2024.9010024

5. Verma, S., & Bala, A. (2021). Auto-scaling techniques for IoT-based cloud applications: A review. *Cluster Computing, 24*(3), 2425–2459. https://doi.org/10.1007/s10586-021-03265-9

6. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ОСОБИСТИХ ФІНАНСІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ВИКОРИСТАННЯМ ASP.NET

Писаренко Юлія Віталіївна
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, pysarenko.yuliaaa.904@gmail.com
Сачук Вікторія Олегівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, sulim.v2608@lntu.edu.ua

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR PERSONAL FINANCE FORECASTING AND CONTROL WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE USING ASP.NET

Pysarenko Yulia
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, pysarenko.yuliaaa.904@gmail.com
Sachuk Viktoriia
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, sulim.v2608@lntu.edu.ua

The paper presents the development of an intelligent information system for forecasting and controlling personal finances using ASP.NET technologies. The system is designed to record income and expenses, manage accounts and categories, visualize financial statistics, and generate a forecast of future expenses based on accumulated user data. The proposed solution combines a web-oriented architecture, secure authentication, a relational database model, and elements of machine learning.

Keywords: personal finance, intelligent information system, forecasting, ASP.NET Core, Blazor, SQLite, Entity Framework Core, ML.NET, Chart.js, financial analytics.

У зв'язку з активним розвитком технологій фінансові операції дедалі частіше здійснюються за допомогою банківських карток, мобільного банкінгу, онлайн-платежів та електронної

комерції. Це призводить до накопичення значної кількості фінансових даних, які користувачеві потрібно не лише зберігати, а й систематизувати, аналізувати та використовувати для планування бюджету. Проблема полягає в тому, що значна частина користувачів не має цілісного уявлення про власні доходи, витрати, фінансові звички та можливі ризики перевищення бюджету.

Мета роботи полягає у розробці інтелектуальної інформаційної системи прогнозування та контролю особистих фінансів, яка забезпечує облік доходів і витрат, роботу з рахунками та категоріями, візуалізацію фінансових показників, захищений доступ до персональних даних і формування прогнозу майбутніх витрат користувача.

Для реалізації поставленої мети було обрано підхід, що передбачає розділення системи на клієнтську частину, серверну частину, бізнес-логіку, інфраструктурний рівень і базу даних. Архітектура програмного продукту побудована за принципами Clean Architecture, саме це дозволяє чітко розмежувати відповідальність між окремими компонентами системи та спростити подальшу підтримку програмного коду (рис. 1).

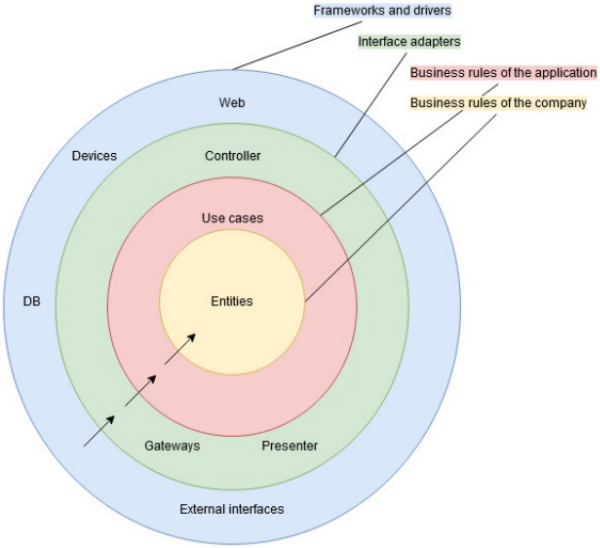


Рисунок 1. Схема Clean Architecture [1]

Серверна частина реалізується з використанням ASP.NET Core Web API, що забезпечує обробку HTTP-запитів, маршрутизацію, взаємодію з клієнтським інтерфейсом і виконання бізнес-логіки. Для створення користувацького інтерфейсу використовується Blazor, який дозволяє розробляти вебсторінки за допомогою C# та Razor-компонентів. Такий підхід дає змогу застосовувати єдиний технологічний стек для серверної та клієнтської частин застосунку.

Для зберігання даних використано SQLite – легку реляційну систему керування базами даних, яка зберігає всю інформацію у файлі та не потребує окремого серверного середовища. Доступ до бази даних організовано за допомогою Entity Framework Core, що дозволяє працювати з таблицями через класи предметної області та спрощує реалізацію операцій додавання, редагування, видалення й вибірки даних. У системі передбачено збереження даних про користувачів, рахунки, категорії доходів і витрат, фінансові транзакції, журнальні записи та токени оновлення доступу. Центральною сутністю бази даних є користувач, з яким пов’язані всі основні фінансові записи. Така структура забезпечує персоналізацію даних і розмежування доступу між різними обліковими записами.

Для захисту персональної фінансової інформації застосовується механізм автентифікації та авторизації на основі JWT-токенів і cookie. JWT-токени дозволяють серверу перевіряти права доступу користувача до захищених ресурсів, а refresh token забезпечує можливість поновлення сесії без повторного введення облікових даних.

Елементи штучного інтелекту реалізуються за допомогою ML.NET. Цей інструмент дозволяє інтегрувати моделі машинного навчання безпосередньо у .NET-застосунок. У межах системи модуль прогнозування використовує накопичені фінансові дані користувача, зокрема історію транзакцій, поточні витрати та середні значення за період, для формування орієнтовної оцінки майбутніх витрат.

Також, варто наголосити, що бібліотека Chart.js дає змогу будувати графіки та діаграми, що відображають структуру витрат,

співвідношення доходів і витрат, динаміку фінансових операцій та прогнозоване навантаження на бюджет.

У результаті дослідження було спроєктовано структуру інтелектуальної інформаційної системи для прогнозування та контролю особистих фінансів. Розроблена система передбачає роботу з основними фінансовими сутностями: користувачами, рахунками, категоріями доходів і витрат, транзакціями та токенами доступу. Побудована модель бази даних забезпечує логічні зв'язки між сутностями та дозволяє зберігати персоналізовану фінансову інформацію кожного користувача окремо.

Функціональні можливості системи охоплюють реєстрацію та авторизацію користувачів, створення фінансових рахунків, додавання категорій доходів і витрат, внесення транзакцій, перегляд історії операцій, фільтрацію даних за періодами, формування статистики та відображення фінансових показників у вигляді графіків і діаграм. Окремим результатом є проєктування модуля прогнозування, який дозволяє перейти від звичайного обліку минулих операцій до аналітичної оцінки майбутнього фінансового навантаження. Порівняння з аналогічними програмними рішеннями показало, що наявні системи мають широкий функціонал для обліку та бюджетування, однак не завжди забезпечують достатню гнучкість, простоту персоналізації та акцент на прогнозуванні витрат. Саме тому запропонований підхід орієнтований на створення системи, у якій прогноз майбутніх витрат є одним із ключових функціональних модулів, а не лише допоміжною можливістю.

Застосування ASP.NET Core Web API, Blazor, SQLite, Entity Framework Core, ML.NET та Chart.js дозволяє сформувати єдину технологічну основу системи, забезпечити зручну взаємодію користувача з фінансовими даними, підтримати захищений доступ до персональної інформації та підвищити наочність результатів аналізу.

Висновки. У роботі обґрунтовано актуальність розробки інтелектуальної інформаційної системи прогнозування та контролю особистих фінансів. Визначено, що сучасному

користувачеві потрібен не лише інструмент для фіксації доходів і витрат, а комплексна система для аналізу, візуалізації та прогнозування фінансової поведінки.

Запропонований підхід поєднує класичні засоби фінансового обліку з елементами штучного інтелекту. Це дозволяє системі виконувати не лише роль електронного журналу транзакцій, а й функцію інформаційної підтримки користувача під час прийняття рішень щодо особистого бюджету. Використання ML.NET забезпечує можливість формування прогнозних оцінок на основі накопичених даних, а застосування Chart.js підвищує зрозумілість результатів аналізу завдяки графічному представленню фінансової інформації.

Список використаних джерел

1. Clean Architecture Overview. URL: https://lukecsmith.co.uk/swift/clean-architecture-overview/ (дата звернення: 29.03.2026).

2. ASP.NET Core Blazor . URL: https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/?view=aspnetcore-10.0 (дата звернення: 05.04.2026).

3. Entity Framework documentation hub. URL: https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml glossary/convolutional-neural-network (дата звернення: 05.04.2026).

4. Contrastive Time-Series Visualization Techniques for Enhancing AI Model Interpretability in Financial Risk Assessment. URL: https://www.preprints.org/manuscript/202504.1984 (дата звернення: 07.04.2026).

5. Поняття та сутність інтелектуальної інформаційної системи. URL: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-11 (дата звернення: 07.04.2026).

СЕМАНТИЧНИЙ РОЗРИВ У ЗАДАЧАХ ВІДНОВЛЕННЯ БІЗНЕС-ЛОГІКИ ПОЛІГЛОТНИХ КОРПОРАТИВНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Понепаляк Андрій Андрійович
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», аспірант кафедри штучного інтелекту та кібербезпеки, andrii.ponepaliak.asp@donntu.edu.ua
Дорогий Ярослав Юрійович
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», завідувач кафедри штучного інтелекту та кібербезпеки, доктор технічний наук, професор, yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua

SEMANTIC GAP IN BUSINESS LOGIC RECOVERY OF POLYGLOT ENTERPRISE SOFTWARE SYSTEMS

Ponepaliak Andrii Andriiovych
SHEE "Donetsk National Technical University", postgraduate student of the Department of Artificial Intelligence and Cybersecurity, andrii.ponepaliak.asp@donntu.edu.ua
Dorohy Yaroslav Yuriyovych
SHEE "Donetsk National Technical University", Head of the Department of Artificial Intelligence and Cybersecurity, Doctor of Technical Sciences, Professor, yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua

The paper examines the semantic gap in business logic recovery of polyglot enterprise software systems. It is shown that classical architecture recovery methods reconstruct structural dependencies, but do not sufficiently explain domain semantics. The need to distinguish technical structure, configuration dependencies, runtime binding and business meaning is substantiated.

Keywords: Business Logic Recovery, Architecture Recovery, Semantic Gap, Enterprise Systems, Program Comprehension, Static Analysis, Polyglot Systems.

Сучасні корпоративні програмні системи рідко характеризуються простою й однорідною структурою. Їхня

бізнес-логіка не зосереджується в одному класі, модулі чи сервісі, а розподіляється між імперативним кодом, конфігураційними файлами, SQL-запитами, API-контрактами, ORM-мапінгами, зовнішніми інтеграціями та механізмами виконання фреймворків. Через це відновлення архітектури такої системи не може зводитися лише до побудови графів викликів або залежностей. Потрібно встановити не тільки те, які елементи пов’язані між собою, а й те, яке бізнес-правило стоїть за цією взаємодією.

Класичні методи Architecture Recovery (AST, графи викликів, потоків та залежностей) створюють формальну основу для аналізу, дозволяючи, за визначенням S. Ducasse та D. Pollet, реконструювати високорівневу модель системи на основі наявних артефактів [1]. Проте технічна відтворюваність таких методів не забезпечує автоматичного розуміння бізнес-змісту, оскільки структурні графи фіксують лише факти технічної взаємодії, не розрізняючи доменні та суто інженерні зв'язки. Формальний опис коду через AST чи CFG не дає відповіді на питання щодо реалізації конкретних понять предметної області, що зумовлює семантичний розрив між структурою програми та її прикладним наповненням у задачах Business Logic Recovery.

Для поліглотних Enterprise-систем ця проблема є особливо помітною. Один бізнес-сценарій може бути розбитий між сервісним методом, SQL-запитом, YAML- або XML-конфігурацією, API-контрактом і зовнішнім сервісом. Окремо кожен із цих елементів може виглядати як звичайний технічний артефакт, але разом вони утворюють бізнес-операцію. D. Perry та A. Wolf підкреслювали, що архітектура програмного забезпечення не зводиться лише до набору елементів і зв’язків, а також охоплює форму та обґрунтування проєктних рішень [2].

Додаткову складність створюють DI-контейнери, IoC-механізми, AOP-проксі, reflection, dynamic dispatch і runtime-зв’язування. Частина залежностей у таких системах формується не через прямі виклики в коді, а через конфігурації, анотації або правила фреймворку. Тому call graph може бути формально коректним, але неповним щодо фактичної поведінки системи.

Окрему роль відіграють розширені графові подання коду.

Code Property Graph поєднує абстрактне синтаксичне дерево, граф потоку керування та граф залежностей даних в одній моделі, що підвищує повноту технічного аналізу [3]. Проте навіть таке подання залишається переважно структурним, показуючи зв'язки між синтаксичними конструкціями, потоками керування й даних, але не визначаючи автоматично бізнес-сенс певного підграфа.

Ще однією проблемою є інфраструктурний шум. У великих корпоративних системах значну частину кодової бази становлять логування, кешування, транзакційність, авторизація, серіалізація, ORM-мапінги, адаптери й framework-код. Для статичного аналізатора все це є елементами системи, але для відновлення бізнес-логіки вони мають різну вагу. Якщо не відокремлювати доменні правила від технічного супроводу, отримана модель буде перевантажена деталями й менш придатна для розуміння змісту.

Проблема семантичного розриву пов'язана з напрямом Program Comprehension. Під час супроводу системи розробник формує ментальну модель того, як система функціонує. A. von Mayrhauser та A. Vans розглядають розуміння програми як процес формування такої ментальної моделі під час супроводу й еволюції програмного забезпечення [4].

Одним зі способів зменшення семантичного розриву є доповнення структурного аналізу засобами семантичного аналізу програмних артефактів. M. Allamanis та співавтори показують, що програмний код має властивості "природності", які роблять можливим застосування моделей машинного навчання до великих кодових баз [5]. Великі мовні моделі також можуть бути корисними, оскільки здатні інтерпретувати код, документацію, API-описи й конфігураційні фрагменти у природномовній формі. X. Hou та співавтори систематизують такі застосування LLM у програмній інженерії [6].

Таким чином, семантичний розрив у задачах відновлення бізнес-логіки полягає у складності переходу від технічної структури системи до її доменного змісту. Класичні методи Architecture Recovery є необхідними, але недостатніми. Їх потрібно доповнювати семантичним аналізом, типізацією зв'язків, трасуванням джерел і відокремленням бізнес-логіки від

інфраструктурного шуму. Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення моделей, які поєднують структурні, конфігураційні та семантичні зв'язки в єдиному поданні й фіксують не лише факт залежності між артефактами, а й її тип, джерело походження, рівень достовірності та зв'язок із конкретним бізнес-сценарієм.

Список використаних джерел

1. Ducasse S., Pollet D. Software Architecture Reconstruction: A Process-Oriented Taxonomy // IEEE Transactions on Software Engineering. 2009. Vol. 35, № 4. P. 573–591. DOI: 10.1109/TSE.2009.19

2. Perry D. E., Wolf A. L. Foundations for the Study of Software Architecture // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. 1992. Vol. 17, № 4. P. 40–52. DOI: 10.1145/141874.141884

3. Yamaguchi F., Golde N., Arp D., Rieck K. Modeling and Discovering Vulnerabilities with Code Property Graphs // IEEE Symposium on Security and Privacy. 2014. P. 590–604. DOI: 10.1109/SP.2014.44

4. von Mayrhauser A., Vans A. M. Program Comprehension During Software Maintenance and Evolution // Computer. 1995. Vol. 28, № 8. P. 44–55. DOI: 10.1109/2.402076

5. Allamanis M., Barr E. T., Devanbu P., Sutton C. A. A Survey of Machine Learning for Big Code and Naturalness // ACM Computing Surveys. 2018. Vol. 51, № 4. Article 81. DOI: 10.1145/3212695

6. Hou X., Zhao Y., Liu Y., Yang Z., Wang K. et al. Large Language Models for Software Engineering: A Systematic Literature Review // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2024. Vol. 33, № 8. Article 220. DOI: 10.1145/3695988

HONEYPOT-КЛАСТЕР ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АТАК НА МІКРОСЕРВІСНУ АРХІТЕКТУРУ

Пономаренко Степан Олегович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, stepan14p@gmail.com
Кошелюк Віктор Андрійович
Луцький національний технічний університет, доцент, кафедра комп'ютерних наук, kosheliuk@lutsk-ntu.com.ua

HONEYPOT CLUSTER FOR DETECTION OF ATTACKS ON MICROSERVICE ARCHITECTURE

Ponomarenko Stepan
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, stepan14p@gmail.com
Kosheliuk Viktor
Lutsk National Technical University, docent, department of computer science, kosheliuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents the development of a Honeypot cluster for detection of attacks on microservice architecture. The system is designed to detect and analyze cyberattacks, monitor incoming requests, classify potential threats, and provide statistical insights based on collected data. The proposed solution combines a microservices-oriented architecture, secure request handling, a logging-based data storage model, and rule-based attack detection mechanisms.

Keywords: cybersecurity, honeypot, microservices architecture, attack detection, SQL injection, XSS, Flask, Python, request analysis, logging, threat classification.

У сучасних умовах цифровізації та широкого впровадження веб-орієнтованих інформаційних систем питання забезпечення інформаційної безпеки набуває особливої актуальності. Постійне зростання кількості кіберзагроз, а також ускладнення їх структури створює необхідність розробки ефективних засобів виявлення та аналізу атак. Особливо це стосується систем,

побудованих за принципами мікросервісної архітектури, де збільшується кількість точок входу та каналів взаємодії між компонентами.

Серед найбільш поширених загроз для веб-додатків виділяються атаки типу SQL injection та міжсайтового виконання скриптів (XSS). SQL injection полягає у впровадженні шкідливих SQL-запитів через вхідні дані, що може призвести до витоку конфіденційної інформації або порушення структури бази даних [1]. У свою чергу, XSS-атаки спрямовані на виконання шкідливого коду у браузері користувача, що може призвести до викрадення сесійних даних або виконання несанкціонованих дій [2].

Традиційні підходи до забезпечення безпеки, такі як міжмережеві екрани та системи виявлення вторгнень, хоча і є ефективними, мають певні обмеження. Зокрема, вони орієнтовані переважно на відомі сигнатури атак і не завжди здатні адекватно реагувати на нові або модифіковані загрози. Крім того, такі системи не завжди дозволяють отримати детальну інформацію про поведінку зловмисників [3].

Одним із перспективних підходів до вирішення зазначеної проблеми є використання honeypot-технологій. Honeypot являє собою спеціально створену систему, яка імітує реальне середовище з метою привернення уваги зловмисників і фіксації їх дій [4]. Основною перевагою такого підходу є можливість детального аналізу атак без ризику для реальних інформаційних ресурсів.

У даній роботі запропоновано підхід до створення honeypot-кластеру, який імітує мікросервісну архітектуру. Такий підхід дозволяє досліджувати поведінку атак не лише на рівні одного сервісу, але й у процесі їх проходження через декілька взаємодіючих компонентів. Це особливо актуально для сучасних систем, де обробка запитів часто здійснюється у декілька етапів.

Розроблена система побудована на основі мови програмування Python та мікрофреймворку Flask, що дозволяє швидко реалізувати веб-сервіси та забезпечити їх взаємодію через HTTP-протокол. Архітектура системи включає два основних

компоненти: сервіс аутентифікації (auth-service) та допоміжний сервіс (api-service), які взаємодіють між собою шляхом передачі запитів.

У процесі роботи системи вхідний запит спочатку обробляється сервісом auth-service, де здійснюється первинний аналіз даних. Далі запит передається до api-service для додаткової перевірки. Такий підхід дозволяє реалізувати багаторівневий механізм аналізу, що підвищує ефективність виявлення атак.

Для виявлення загроз використовується сигнатурний підхід, який базується на аналізі вхідних даних та пошуку характерних шаблонів. Зокрема, перевіряється наявність конструкцій, притаманних SQL injection (наприклад, "OR 1=1", "UNION SELECT") та XSS-атакам ("<script>", "alert()") [1], [2]. Незважаючи на простоту, такий підхід дозволяє ефективно виявляти найбільш поширені типи атак.

У системі також реалізовано механізм класифікації атак, який дозволяє визначати їх тип та зберігати відповідну інформацію у журналі. Логування здійснюється у текстовий файл, який виконує функцію спрощеної бази даних. Кожен запис містить інформацію про тип запиту, IP-адресу клієнта, тип виявленої атаки та інші параметри.

Окрему увагу приділено аналізу поведінки клієнтів. У системі реалізовано механізм підрахунку кількості підозрілих запитів з однієї IP-адреси. У разі перевищення встановленого порогу система блокує подальші запити, що дозволяє імітувати базову функціональність систем запобігання вторгненням.

Додатково реалізовано модуль збору статистичної інформації, який дозволяє отримувати дані про кількість атак різних типів, кількість нормальних запитів та кількість заблокованих клієнтів. Це забезпечує можливість аналізу ефективності роботи системи та оцінки рівня загроз.

Проведене тестування показало, що розроблена система здатна ефективно виявляти типові атаки, фіксувати їх у журналі та здійснювати базове реагування. Отримані результати підтверджують доцільність використання honeypot-технологій для аналізу кіберзагроз у середовищі мікросервісної архітектури.

Таким чином, у роботі запропоновано підхід до створення спрощеного honeypot-кластеру, який дозволяє здійснювати виявлення, класифікацію та аналіз атак. Запропоноване рішення може бути використане як основа для подальшого розвитку систем інформаційної безпеки та дослідження поведінки зловмисників.

Список використаних джерел

1. SQL injection // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SQL_injection (дата звернення: 29.03.2026).

2 Cross-site scripting // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-site_scripting (дата звернення: 05.04.2026).

3. Scarfone K., Mell P. Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS). NIST Special Publication 800-94. (дата звернення: 05.04.2026).

4. Honeypot (computing) // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Honeypot_(computing) (дата звернення: 07.04.2026).

АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ МИТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Речун Оксана Юріївна
Кандидат економічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, chuzkova65@gmail.com
Герез Тетяна Андріївна
Студент 2-го курсу митної справи та торгівлі, Луцький національний технічний університет, tetyana.gerezz@gmail.com
Бачинська Олена Сергіївна
Учитель інформатики, Луцький ліцей №14 імені Василя Сухомлинського, olenagerez@gmail.com

THE RELEVANCE OF THE APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE SPHERE OF CUSTOMS ACTIVITIES

Rechun Oksana Yuriivna
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Lutsk National Technical University, chuzkova65@gmail.com
Gerez Tetyana Andriivna
2nd year student of customs and trade, Lutsk National Technical University, tetyana.gerezz@gmail.com
Bachynska Olena Serhiivna
Teacher of computer science, Lutsk Lyceum No. 14 named after Vasyl Sukhomlynsky, olenagerez@gmail.com

The article examines the role of information technologies in the development of customs authorities in Ukraine. Special attention is paid to the implementation of electronic customs systems, automation of customs procedures, and digital communication tools. The study highlights the importance of IT solutions for improving customs control, analytical support, and harmonization of customs processes with international standards.

*Keywords**:** information technologies, customs authorities, electronic customs, customs control, automation, digitalization, international trade, customs procedures, Ukraine.*

На даному етапі розвитку сучасного суспільства інформаційні технології виступають одним із ключових факторів,

за яким визначається розвиток цього суспільства та стимулюється прогрес у різних секторах економіки. У зв'язку з цим впровадження інноваційних ІТ-рішень у діяльність митних органів стало об'єктивною потребою.

Значення інформаційних технологій у митній сфері підтверджується положеннями Кіотської конвенції 1999 року, яка визначає широке застосування ІТ як один із базових принципів митного оформлення та підкреслює роль електронних комунікацій у підвищенні ефективності контролю.

Пріоритетним завданням інформатизації Державної митної служби України є формування сучасної інформаційної інфраструктури, що ґрунтується на передових технологіях, надійному технічному забезпеченні та високошвидкісних каналах зв'язку. Така система має підтримувати стратегічні напрями діяльності митних органів і сприяти вирішенню як поточних, так і перспективних завдань. Одним із важливих напрямів є не лише ведення митної статистики, але й підготовка аналітичних матеріалів щодо зовнішньоекономічної діяльності країни для розроблення рекомендацій уряду щодо застосування тарифних і нетарифних методів регулювання. З цією метою в структурі митних органів створено аналітичні підрозділи на різних рівнях управління.

Активний розвиток зовнішньоекономічної діяльності України та зростання обсягів міжнародної торгівлі призвели до значного збільшення обсягів митної інформації. Це, у свою чергу, зумовило необхідність автоматизації процесів митного оформлення та контролю за переміщенням транспортних засобів і підакцизних товарів. Реалізація цих завдань стала можливою завдяки впровадженню загальнодержавної системи електронного зв'язку й оперативного контролю, що функціонує із використанням супутникових каналів та забезпечує перевірку декларацій у режимі реального часу.

Питання впровадження сучасних ІТ неодноразово відображалися у стратегічних документах, а у 2007 році було закладено організаційну основу для їх розвитку через створення Регіональної інформаційної митниці. Подальший розвиток цього напряму закріплено рішенням уряду 2008 року, яким затверджено концепцію створення багатофункціональної системи

«Електронна митниця». Цей проєкт розглядається як комплексна платформа, що об'єднує інформаційно-комунікаційні технології та механізми їх застосування, сприяючи підвищенню рівня митної безпеки й ефективності управління. Передбачається, що вона інтегрує існуючі системи контролю експорту, імпорту та транзиту в єдине цифрове середовище з можливістю електронного обміну даними між усіма учасниками зовнішньоекономічної діяльності.

З урахуванням зростання вимог міжнародної торгівлі та необхідності гармонізації митних процедур із міжнародними стандартами, Державна митна служба України має посилювати рівень автоматизації процесів контролю й оформлення, а також розширювати використання сучасних засобів зв'язку та електронної взаємодії. Розбудова ефективної системи електронної митниці є важливим кроком до підвищення результативності митної діяльності та вдосконалення механізмів державного регулювання у цій сфері.

Список використаних джерел

1. Наказ ДМСУ «Про затвердження Концепції створення, упровадження і розвитку системи електронного декларування товарів». № 907 від 18.10.2006. *Комплексне інформаційно-правове забезпечення*. Ліга: Корпорація.

2. Митні інформаційні технології : навч.посіб./ О.Ф. Волик, О.В. Кащеєва, І.В. Дорда та ін.; за ред. П.В.Пашка . Київ : Знання, 2011. 391 с.

3. Митна складова економічної безпеки і держави: наукове обґрунтування та оцінка сучасного стану. *Наука молода*. 2009. 188 с.

4. Нові аспекти міжнародної торгівлі в умовах переходу до інформаційного суспільства. Вісн. КНЕУ. 2011. №2. 43 с.

5. Митна політика та безпека України. П.В. Пашко, П.Я.Пісной. *Фінанси України*. 2009. №1.74 с.

6. Федотова І.О. Організація мтної діяльності. Федотова І.О. *Митна справа*. 2011. №6(78). 25 с.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ КОРИСТУВАЧІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Романенко Сергій Олексійович
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інтелектуальних технологій,
serhii.romanenko@viti.edu.ua
Яшник В'ячеслав Станіславович
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, ТВО заступника начальника факультету з навчальної та наукової роботи – начальник навчальної частини факультету інформаційних технологій,
vyacheslav.yashnyk@viti.edu.ua

METHOD FOR ENHANCING THE ADAPTIVITY OF INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS BASED ON USER BEHAVIOR PATTERN ANALYSIS USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES

Romanenko Serhii Oleksiiovych
The Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Intelligent Technologies,
serhii.romanenko@viti.edu.ua
Yashnyk Viacheslav Stanislavovych
The Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Acting Deputy Head of the Faculty for Academic and Research Affairs – Head of the Academic Department of the Faculty of Information Technologies,
vyacheslav.yashnyk@viti.edu.ua

This work proposes a method to enhance the adaptivity of intelligent information systems through analysis of user behavior patterns using machine learning techniques. The approach enables

dynamic personalization of interfaces, optimizes information presentation, and improves user interaction efficiency, reducing cognitive load and supporting intelligent decision-making in complex digital environments.

Keywords: machine learning, monitoring, intelligent information systems, adaptivity.

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується різким збільшенням обсягів цифрових даних, складністю інформаційних потоків та швидкою еволюцією користувацьких потреб. Інтелектуальні інформаційні системи (ІІС) стають критично важливими у різних сферах діяльності людини, включно з промисловими підприємствами, освітніми платформами, медичними інформаційними системами, веборієнтованими сервісами та системами підтримки прийняття рішень. У таких умовах традиційні підходи до побудови інформаційних систем, що ґрунтуються на статичних інтерфейсах, фіксованих сценаріях взаємодії та обмежених механізмах персоналізації, не забезпечують високого рівня ефективності та зручності використання. Це створює необхідність розробки методів, які дозволяють підвищити адаптивність систем шляхом аналізу поведінкових патернів користувачів та використання сучасних технологій машинного навчання [1].

В сучасній науковій літературі виділяються кілька підходів до побудови адаптивних інформаційних систем. До найбільш поширених належать: статистичний аналіз поведінки користувачів, експертні системи, контекстно-залежні механізми налаштування інтерфейсів та моделі рекомендацій на основі колективної поведінки користувачів. Однак ці підходи часто обмежені: статистичні методи недостатньо враховують складні взаємозв'язки між поведінковими характеристиками, експертні системи потребують значних ресурсів для ручного налаштування правил, а прості системи рекомендацій не забезпечують динамічної персоналізації у реальному часі. Застосування методів машинного навчання дозволяє долати ці обмеження шляхом

автоматичного виявлення складних патернів, класифікації користувачів та прогнозування їх поведінки, що, у свою чергу, підвищує адаптивність і ефективність системи [2].

У представленій роботі запропоновано метод підвищення адаптивності ІІС, що ґрунтується на аналізі поведінкових патернів користувачів із використанням технологій машинного навчання. Метод передбачає кілька ключових етапів: збір даних про взаємодію користувачів із системою, їхню попередню обробку та нормалізацію, побудову моделей поведінки користувача, класифікацію за типами поведінки та прогнозування подальших дій користувача. Особлива увага приділяється визначенню релевантних поведінкових ознак, таких як послідовність дій у системі, частота доступу до окремих функціональних модулів, час, витрачений на виконання конкретних операцій, та контекстні параметри взаємодії [3].

Для побудови моделей поведінки користувачів застосовуються сучасні алгоритми машинного навчання, включно з методами кластеризації, алгоритмами глибинного навчання та методами послідовної аналітики, які дозволяють виявляти складні нелінійні залежності та сценарії використання системи. Запропонована архітектура ІІС передбачає динамічне налаштування інтерфейсу та функціональних можливостей у реальному часі залежно від прогнозованого типу користувача та його поведінкових патернів.

Очікуваними результатами реалізації методу є: підвищення ефективності взаємодії користувача із системою, скорочення часу пошуку необхідної інформації, зменшення когнітивного навантаження на користувача та підвищення задоволеності користувацьким досвідом. Додатковим ефектом є формування бази для подальшого розвитку інтелектуальних механізмів підтримки прийняття рішень, автоматизації персоналізованих рекомендацій та оптимізації функціональних модулів інформаційної системи [4].

Застосування запропонованого методу може бути ефективним у різних сферах, включаючи веборієнтовані платформи, електронне навчання, інформаційно-аналітичні

системи, системи управління підприємствами та медичні інформаційні системи. Особливо перспективним є використання підходу у багатокористувацьких системах, де поведінкові патерни великої кількості користувачів можуть бути проаналізовані для створення адаптивного інтерфейсу та персоналізованих сервісів.

Таким чином, запропонований метод підвищення адаптивності інтелектуальних інформаційних систем на основі аналізу поведінкових патернів користувачів із використанням технологій машинного навчання є універсальним та масштабованим підходом, який дозволяє забезпечити високий рівень персоналізації, покращити ефективність використання інформаційних ресурсів та створити передумови для подальшого розвитку інтелектуальних інформаційних технологій у динамічних цифрових середовищах.

Список використаних джерел

1. Chen, L., & Zhang, Y. (2020). Machine Learning Approaches for Adaptive User Interfaces. International Journal of Human-Computer Studies, 138, 102410. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102410

2. Kumar, S., & Patel, R. (2021). Intelligent Information Systems: Design and Implementation. Springer Nature. Retrieved from https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-67890-5

3. Wang, H., Li, J., & Zhao, X. (2019). User Behavior Modeling for Personalized Information Systems. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems, 9(4), 1–24. https://doi.org/10.1145/3343331

4. Smith, A., & Roberts, M. (2018). Adaptive Interfaces Using Behavioral Analytics. Journal of Artificial Intelligence Research, 62, 457–482. https://doi.org/10.1613/jair.1.11678

ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБОРІЄНТОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ АВТОСЕРВІСУ

Савула Максим Петрович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, savulamax@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

DESIGN OF A WEB-BASED AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM FOR CAR SERVICE ENERPRISE

Savula Maksym
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, savulamax@gmail.com
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents a web-based information system for managing car service operations and improving interaction between clients and service providers. The system is developed using ASP.NET Core MVC and integrates user authentication, service management, car parts inventory, news publication, and customer feedback modules. The proposed solution ensures convenient data management, role-based access control, and a user-friendly interface, improving the efficiency of service operations and overall user experience.

Keywords: web application, ASP.NET Core MVC, car service management, user authentication, database systems, information system, SQL Server, Entity Framework.

Постановка проблеми. Сучасні автосервіси потребують ефективних інструментів для управління інформацією про послуги, працівників, клієнтів та склад запчастин. Традиційні підходи, що базуються на використанні паперової документації або розрізнених програмних засобів, не забезпечують

достатнього рівня автоматизації та зручності. Відсутність єдиної інформаційної системи ускладнює процес обробки даних, взаємодію з клієнтами та контроль за роботою підприємства.

Крім того, важливим аспектом є забезпечення зручної взаємодії між користувачем і системою. Клієнти очікують можливості швидкого доступу до інформації про сервіси, перегляду новин, залишення відгуків та керування власними даними через вебінтерфейс. Це обумовлює необхідність розробки сучасної веб-орієнтованої системи з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом.

Мета роботи полягає у розробці вебзастосунку для управління діяльністю автосервісу, який забезпечує зручну взаємодію користувачів із системою, автоматизацію основних процесів та централізоване зберігання даних.

Функціонально система складається з кількох взаємопов'язаних модулів, які забезпечують її повноцінну роботу. Зокрема, реалізовано модуль управління користувачами, що відповідає за реєстрацію, авторизацію та розмежування доступу відповідно до ролей. Модуль управління сервісами забезпечує можливість перегляду та редагування інформації про автосервіси. Модуль управління працівниками дозволяє адміністратору створювати та редагувати дані про персонал.

Окремо реалізовано модуль управління складом запчастин, який надає можливість зберігати, переглядати та фільтрувати інформацію про наявні деталі. Модуль новин та оголошень забезпечує публікацію актуальної інформації для користувачів. Також передбачено модуль відгуків, що дозволяє клієнтам залишати оцінки та коментарі щодо роботи сервісів.

Крім того, система включає особистий кабінет користувача, у якому зосереджено функціонал для перегляду та редагування персональних даних, а також керування пов'язаною інформацією, зокрема автомобілями.

Загальна архітектура вебзастосунку, що відображає взаємодію основних модулів, ролей користувачів та бази даних, представлена на рисунку 1.

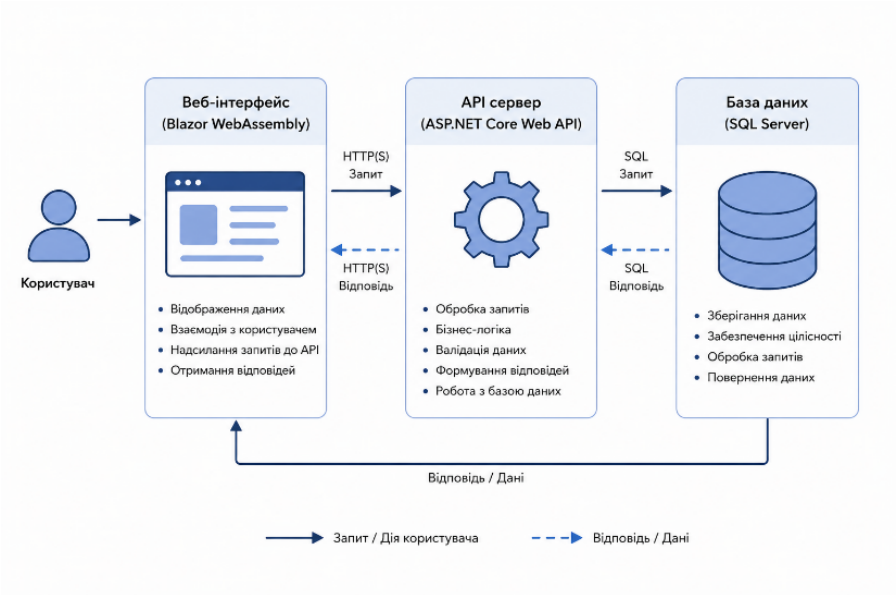


Рисунок 1. Архітектура взаємодії компонентів вебзастосунку
Джерело: розроблено автором

Результати. За час виконання роботи було розроблено повноцінний вебзастосунок для управління діяльністю автосервісу. Реалізована система забезпечує можливість реєстрації та авторизації користувачів із подальшим доступом до персоналізованого функціоналу. Користувачі можуть керувати власним профілем, переглядати інформацію про сервіси, включаючи їх місцезнаходження, контактні дані та графік роботи, а також додавати інформацію про власні автомобілі.

Система надає можливість перегляду новин та оголошень, що дозволяє користувачам бути в курсі актуальної інформації. Крім того, реалізовано функціонал залишення відгуків про сервіси, що сприяє підвищенню якості обслуговування та формуванню зворотного зв'язку між клієнтами та підприємством.

Для адміністратора передбачено розширений функціонал, що включає управління працівниками, сервісами, складом запчастин та новинами. Також реалізовано можливість здійснення фільтрації та сортування запчастин, що дозволяє ефективно працювати з інформацією про склад.

У процесі розробки було створено інтуїтивно зрозумілий та адаптивний інтерфейс користувача з підтримкою світлої та темної тем оформлення. Окрема увага була приділена забезпеченню читабельності елементів інтерфейсу в різних режимах відображення. Розроблена система коректно взаємодіє з базою даних та забезпечує розмежування прав доступу відповідно до ролі користувача.

Список використаних джерел

1. Modernizing Enterprise Web Platforms: An Evolutionary Analysis of ASP.NET to ASP.NET Core Transition Strategies. URL: https://emergingsociety.org/index.php/efltajet/article/view/879 (дата звернення: 15.04.2026).

2. Efficient handling of recursive relationships in ORM frameworks using Entity Framework Core as an example. URL: https://doi.org/10.18420/BTW2023-78 (дата звернення: 17.04.2026).

3. Exploring The Model-View-Controller (MVC) Architecture: A Broad Analysis of Market and Technological Applications. URL: https://doi: 10.20944/preprints202404.1860.v1 (дата звернення: 19.04.2026).

4. Review of Secure API Development and Authentication Mechanisms in ASP.NET Core Applications. URL: https://ijeret.org/index.php/ijeret/article/view/504 (дата звернення: 21.04.2026).

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ В УМОВАХ РОБОТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ДІАГРАМ СТАНІВ

Самчук Людмила Михайлівна
Луцький національний технічний університет,
кандидат технічних наук, доцент кафедри робототехніки,
Samchuk204@gmail.com
Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, кандидат технічних наук,, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, yuliapovstyana@ukr.net

MODELING OF AUTOMOTIVE MANUFACTURING PROCESSES UNDER ROBOTIZATION USING STATE DIAGRAMS

Liudmyla Samchuk
Lutsk National Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics,
Samchuk204@gmail.com
Yuliia Povstiana
Lutsk National Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Software Engineering, yuliapovstyana@ukr.net

The paper shows the feasibility of using state diagrams for modeling automotive manufacturing processes in the context of robotization. The interaction between production stages and robotic systems is considered. The advantages of formalized modeling for increasing the reliability, flexibility, and efficiency of automated production systems are substantiated.

Keywords: automotive manufacturing, robotization, state diagrams, UML, modeling, automation.

Сучасні виробничі системи, зокрема у сфері автомобілебудування, активно інтегрують робототехнічні рішення для підвищення ефективності та точності виконання

операцій. Разом із цим зростає складність програмного забезпечення, яке керує такими процесами. Виникає потреба у формалізованому описі взаємодії між етапами виробництва та роботизованими системами. Без чіткої моделі складно забезпечити узгодженість роботи всіх компонентів, що може призводити до помилок і зниження якості продукції. Одним із ефективних засобів вирішення цієї проблеми є використання діаграм станів. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється використанню UML-діаграм для моделювання складних систем, зокрема в умовах автоматизованого виробництва.

Діаграми станів широко застосовуються для опису поведінки систем у реальному часі, включаючи керування робототехнічними комплексами. Наукові праці демонструють, що інтеграція методів моделювання з робототехнікою дозволяє підвищити надійність систем, оптимізувати виробничі процеси та зменшити витрати. Особливу увагу приділяють моделюванню сценаріїв відмов та повторного виконання операцій, що є критично важливим для роботизованих систем. Процес створення автомобіля включає низку послідовних і взаємопов'язаних етапів, значна частина яких виконується із застосуванням робототехнічних систем. До таких етапів належать зварювання кузова, фарбування, складання та частково тестування. Кожен із цих процесів може бути представлений як окремий стан у діаграмі. Діаграма станів дозволяє змоделювати роботу не лише інформаційної системи, але й взаємодію з роботизованими пристроями.

Наприклад, стан «зварювання» передбачає виконання операцій роботами, які працюють за заздалегідь запрограмованими сценаріями. У разі виявлення дефектів система переходить у стан перевірки або коригування параметрів, що може включати зміну програм для роботів. Аналогічно, під час фарбування робототехнічні системи забезпечують рівномірне нанесення покриття, а у випадку відхилень ініціюється повторний цикл або редагування вимог до матеріалів. Таким чином, діаграма станів відображає не лише лінійну послідовність

дій, але й складну мережу переходів, пов’язаних із контролем якості та адаптацією системи. Важливою особливістю є можливість інтеграції діаграми станів у системи керування робототехнікою. Це дозволяє автоматизувати прийняття рішень, зменшити участь людини та підвищити точність виконання операцій. На рис. 1 представлено діаграму станів інформаційної системи «Створення автомобілів», яка відображає послідовність основних етапів виробничого процесу. Діаграма демонструє переходи між станами, включаючи як основні операції, так і альтернативні сценарії, пов’язані з перевіркою якості та коригуванням вимог. Це дозволяє наочно простежити логіку функціонування системи та взаємодію між її компонентами.

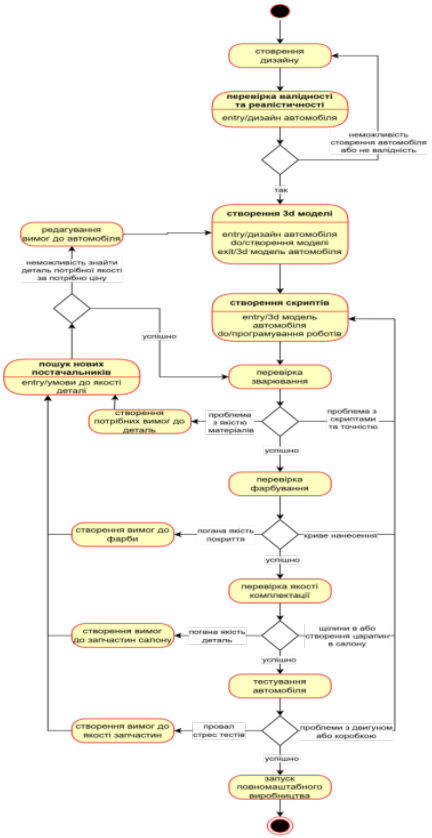


Рисунок 1. Діаграма станів інформаційної системи «Створення

автомобілів»

Встановлено, що діаграми станів є ефективним інструментом моделювання процесів у системах, що поєднують програмне забезпечення та робототехніку. Їх використання дозволяє забезпечити структурованість, гнучкість і надійність виробничих процесів. Актуальність теми зумовлена зростанням рівня автоматизації та впровадженням роботизованих технологій. Подальше застосування діаграм станів відкриває широкі можливості для розвитку інтелектуальних систем керування виробництвом.

Список використаних джерел

1. Villani V, Pini F, Leani F, Secchi C. (2018) Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. Mechatronics,. https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.

2. Samchuk, L., & Povstiana, Y. UML diagrams of the management system of maintenance stations. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, *14*(4), 2024, 141-145. https://doi.org/10.35784/iapgos.6320

3. J.E. Perez-Martinez, A. Sierra-Alonso, "UML 1.4 versus UML 2.0 as languages to describe software architectures," Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 3047, 2004, doi:10.1007/978-3-540-24769- 2_7.

4. Folgado, F.J., Calderón, D., González, I., & Calderón, A.J. (2024). Review of Industry 4.0 from the perspective of automation and supervision systems: Definitions, architectures and recent trends. Electronics, 13(4), article number 782. doi: 10.3390/electronics13040782.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИМУЛЯЦІЇ ПОВЕДІНКИ НАТОВПУ ПІД ЧАС ЕВАКУАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ C++

Самчук Людмила Михайлівна
Луцький національний технічний університет,
кандидат технічних наук, доцент кафедри робототехніки,
Samchuk204@gmail.com
Никитюк Віталій Вікторович
Луцький національний технічний університет,
здобувач освіти кафедри інженерії програмного забезпечення,
vitaliknyk3103@gmail.com

DEVELOPMENT OF A SIMULATION SYSTEM OF THE CROWD BEHAVIOR DURING EVACUATION USING MULTI-AGENT SYSTEMS IN THE C++ PROGRAMMING LANGUAGE

Liudmyla Samchuk
Lutsk National Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics,
Samchuk204@gmail.com
Vitaliy Nykytiuk
Lutsk National Technical University,
Student of the Department of Software Engineering,
vitaliknyk3103@gmail.com

The paper explores reasons behind creations of complex crowd behavior simulation models and provides a comprehensive examination of the software development process for evaluating building layouts based on safety during evacuation through the application of multiagent simulation techniques. Furthermore, the paper outlines the architectural decisions, algorithmic foundations, and implementation challenges encountered during the development of the simulation system. Finally, the paper covers practical uses of developed software and results of testing on real cases.

Keywords: multiagent systems, simulation, safety, crowd-

behaviour, pedestrian dynamics, social force model.

Забезпечення високого рівня безпеки життєдіяльності є фундаментальною вимогою до проектування сучасних архітектурних об'єктів. Ключовим аспектом цієї вимоги є розробка архітектурних рішень, що гарантують умови для швидкої та безперешкодної евакуації людей у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Традиційні аналітичні методи не дозволяють повною мірою врахувати індивідуальну поведінку людей, соціальні зв'язки та психологічні чинники в умовах стресу. Це зумовлює необхідність розробки складного програмного забезпечення на основі мультиагентних систем (MAS), де кожен евакуйований представлений як автономна одиниця зі власною логікою прийняття рішень.

Найбільш поширеною та фундаментальною моделлю моделювання пішохідних потоків є модель соціальних сил (SFM). В її основі механіка, де рух кожного агента визначається сумою векторів сил: цільової сили тяжіння до виходу, сили відштовхування від перешкод та сили соціальної дистанції між індивідами. Сучасні наукові праці доводять, що класична інтерпретація моделі потребує адаптації для врахування складних соціальних чинників. Розширення SFM шляхом інтеграції таких концептів, як передевакуаційна затримка, динаміка соціальних груп та поведінкові особливості маломобільних агентів, дозволяє значно підвищити реалістичність симуляції.

Зокрема, впровадження інклюзивних параметрів дає змогу моделювати гетерогенний натовп, де швидкість і траєкторія руху кожного агента залежать не лише від фізичних перешкод, а й від індивідуальних фізичних можливостей та соціальних зв'язків. Врахування взаємодії між членами груп (наприклад, прагнення родини залишатися разом) змінює вектори сил притягання та відштовхування, що критично впливає на загальний час евакуації та виникнення зон надмірної щільності. Моделювання передевакуаційної поведінки значно підвищує достовірність результатів, через врахування затримки на усвідомлення загрози та прийняття рішення. Таким чином, удосконалена модель

соціальних сил стає потужним інструментом для проектування безпечного середовища та розробки ефективних стратегій управління натовпом у кризових ситуаціях.

Описана імплементація повноцінного програмного забезпечення для симуляції натовпу, що складається з розробки інтерфейсу користувача, ядра симуляції та інструментів їх синхронізації. Особлива увага приділена розробці та взаємодії конкретних модулів системи, що відповідають за обробку геометрії приміщень та логіку агентів. Центральною частиною розробки програмного забезпечення є реалізація моделі соціальних сил та її функціональних надбудов.

Важливим аспектом реалізації системи є вибір мови програмування. Для розробки було обрано мову C++, що зумовлено високими вимогами до продуктивності симуляції, особливо при моделюванні великої кількості агентів у реальному часі. Використання C++ дозволяє ефективно керувати пам'яттю, мінімізувати накладні витрати обчислень та забезпечити детермінованість виконання алгоритмів. Крім того, мова надає широкі можливості для багатопотокової обробки, що є критично важливим для відокремлення логіки симуляції від графічного відображення. Застосування бібліотек ImGui та SFML органічно доповнює можливості C++, забезпечуючи зручну реалізацію користувацького інтерфейсу та візуалізації.

Під час розробки системи симуляції з графічним відображенням в реальному часі важливо дотримуватися чіткого розподілу ядра симуляції і відображення для забезпечення самостійності симуляції. Для цього було використана класична архітектура модель-інтерфейс-контролер (Model-View-Controller, MVC), тобто було створено три окремі модулі: core, що містить логіку симуляції; ui, що відповідає за відображення симуляції; controller, що надає ui інтерфейс для взаємодії з симуляцією. Це дозволяє імплементувати запуск симуляції і відображення її результатів без запуску графічного інтерфейсу.

Модуль ui представляє собою реалізацію інтерфейсу на базі бібліотеки ImGui для інтеракції з моделлю (налаштування до початку симуляції, прискорення симуляції, пауза та інші функції)

та графічного відображення середовища, агентів та перешкод, з допомогою мультимедіа бібліотеки SFML.

Модуль core реалізує повну логіку симуляції евакуації, включаючи модель соціальних сил, управління агентами та оновлення їхнього стану. Потік simulationThread відповідає за безперервне оновлення стану системи з фіксованим або адаптивним кроком часу, що забезпечує детермінованість і незалежність симуляції від частоти кадрів графічного інтерфейсу. Основний цикл ядра реалізує ітеративний підхід, у якому на кожному кроці часу відбувається обчислення сил, що діють на агентів, та інтеграція їхнього руху.

Модель побудована навколо ключових компонентів.

Власне ядро: координує оновлення всіх агентів, керує часовим кроком і синхронізацією потоків.

Сітка середовища: дискретне представлення середовища у вигляді двовимірної сітки, яка використовується для навігації, перевірки прохідності та взаємодії з перешкодами. Для ініціалізації сітки використовується окремий допоміжний модуль GridConverter, що конвертує DXF-файли в сітки середовища. Агент: компонент, що містить ключову логіку моделі, представляє окремого індивіда в системі, містить його фізичні параметри (позиція, швидкість, прискорення, маса, радіус) і поведінкові характеристики (бажана швидкість, ціль руху, позиція в матриці відносин). Також містить методи для розрахунку і оновлення позиції кожен крок симуляції за формулами соціальної моделі сил.

У загальному вигляді рух кожного агента визначається як сума кількох складових: рушійної сили, що спрямовує агента до цілі; сил відштовхування від інших агентів і перешкод; а також додаткових сил, пов’язаних із соціальною взаємодією та внутрішнім станом агента. Кожна з цих складових реалізована у вигляді окремого методу класу агента, а результуюча сила використовується для обчислення прискорення, швидкості та нової позиції агента на кожному кроці симуляції.

Одним із ключових розширень моделі є врахування соціальних зв’язків між агентами. Для цього використовується

матриця відносин, у якій зберігається сила взаємозв'язку між кожною парою агентів. На основі цих значень у модель вводиться додаткова сила притягання, яка діє між агентами з позитивними відносинами. Це дозволяє моделювати поведінку груп людей, таких як сім'ї або знайомі, які намагаються рухатися разом, очікують один одного або змінюють траєкторію руху з урахуванням положення інших членів групи. Таким чином, у симуляції виникають кластери агентів, що рухаються узгоджено.

Ще одним важливим компонентом є емоційний стан агента, який моделює рівень стресу або паніки. Цей параметр динамічно змінюється під час симуляції, розраховується від кількості інших агентів в радіусі та залежно від відстані до небезпеки та впливає на поведінку агента. Зокрема, зі зростанням рівня паніки збільшується бажана швидкість руху, зменшується дистанція комфортної взаємодії з іншими агентами та посилюється реакція уникнення. Емоційний стан також передається з часом між агентами через локальну взаємодію, що дозволяє моделювати ефект поширення паніки в натовпі.

Кожен агент має коефіцієнт рухливості, від якого залежать параметри швидкості, максимальної швидкості часу реакції. Це дозволяє моделювати поведінку людей похилого віку або осіб з обмеженими можливостями.

Передевакуаційна поведінка в системі реалізована як окремий стан агента, який передує фазі активного руху та враховує затримку між моментом виникнення надзвичайної ситуації і початком евакуації. Перехід в активний стан відбувається або після конкретного моменту в часі, випадково вибраного для кожного агента, або після потрапляння активного агента в поле зору.

Встановлено, що інтеграція удосконаленої моделі соціальних сил у структуру мультиагентних систем дозволяє створити надійний інструмент для верифікації архітектурних рішень. Розроблене програмне забезпечення забезпечує комплексний підхід до аналізу безпеки будівель, поєднуючи зручний інтерфейс для налаштування параметрів середовища та потужне обчислювальне ядро для моделювання поведінки

натовпу.

Список використаних джерел

1. Sun, L., Yang, Y., Duan, Q., Shi, Y., Lyu, C., Chang, Y.-C., Lin, C.-T., & Shen, Y. (2025). Multi-Agent Coordination across Diverse Applications: A Survey. arXiv preprint arXiv:2502.14743. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.14743

2. Wang, P., Wang, X., Luh, P., Olderman, N., Wilkie, C., & Korhonen, T. (2024). CrowdEgress: A Multi-Agent Simulation Platform for Pedestrian Crowd. *arXiv preprint arXiv:2406.08190*.https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.08190

3. Alqahtani, F.K., Sherif, M., Ghanem, A., & Abdelhafeez, M. (2025). Inclusive crowd evacuation modeling under heterogeneous mobility constraints. *Scientific Reports*, 15, article number 35337. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19403-x

4. Li, Z., Qiu, S., Wang, X., & Zhao, L. (2022). Modeling and simulation of crowd pre-evacuation decision-making in complex traffic environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), article number 16664. https://doi.org/10.3390/ijerph192416664

5. Lamrhary, Y., Jebrane, A., Argoul, P., Boukamel, A., & Hamdaoui, A. (2024). A coupled SFM-ASCRIBE model to investigate the influence of emotions and collective behavior in homogeneous and heterogeneous crowds. *Collective Dynamics*, 9, 1–29. https://doi.org/10.17815/CD.2024.147

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДТОКУ КЛІЄНТІВ САЛОНУ КРАСИ

Седун Анастасія Валентинівна
Національний університет водного господарства та природокористування, здобувач вищої освіти першого рівня, кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики, sedun_ak22@nuwm.edu.ua
Каштан Сергій Степанович
Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики, к.т.н., доцент, s.s.kashtan@nuwm.edu.ua

FUNCTIONAL MODELING OF THE PROCESS OF CUSTOMER CHURN PREDICTION IN A BEAUTY SALON

Sedun Anasrasiia Valentynivna
National University of Water and Environmental Engineering, first-level higher education student, Department of Computer Science and Applied Mathematics, sedun_ak22@nuwm.edu.ua
Kashtan Serhii Stepanovych
National University of Water and Environmental Engineering, Associate Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics, Ph.D., Associate Profesor, s.s.kashtan@nuwm.edu.ua

The paper presents functional modeling of the customer churn prediction process in a beauty salon using the IDEF0 methodology. A context diagram and decomposition diagrams of the customer churn prediction process were developed. The model includes data receving from a database, calculation of KPI indicators, churn risk assessment, customer segmentation, and generation of personalized recommendations. The modeling results can be used in the design of a beauty salon information system.

Keywords: data analysis, information systems, business processes, IDEF0, functional modeling, customer churn prediction.

Розвиток методів інтелектуального аналізу даних надає можливість створення спеціалізованих інформаційних систем [1] для управління бізнес-процесами та клієнтського обліку, зокрема в контексті прогнозування відтоку клієнтської бази підприємств б'юті-індустрії. Актуальність цього напряму зумовлена високим рівнем конкуренції, де утримання клієнтів є критично важливим для економічної стабільності та рентабельності салонів краси.

Для опису процесу прогнозування відтоку клієнтів салону краси було використано методологію функціонального моделювання IDEF0 [2, 3]. Побудовано контекстну діаграму та діаграми декомпозиції, які відображають основні етапи роботи інтелектуальної системи.

На контекстній діаграмі (рис. 1) показано загальний процес прогнозування відтоку клієнтів, вхідні та вихідні дані, а також керуючі впливи й механізми системи.

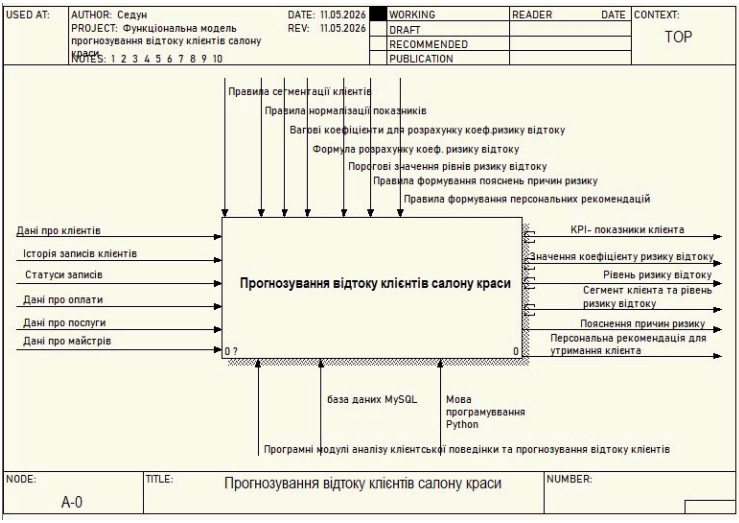


Рисунок 1. Контекстна діаграма процесу прогнозування відтоку клієнтів салону краси

Діаграма декомпозиції першого рівня (рис. 2) містить основні функціональні блоки: отримання даних клієнта, розрахунок KPI-показників, розрахунок коефіцієнта ризику відтоку, оцінювання рівня ризику відтоку та сегментація клієнта, формування пояснення та персональних рекомендацій.

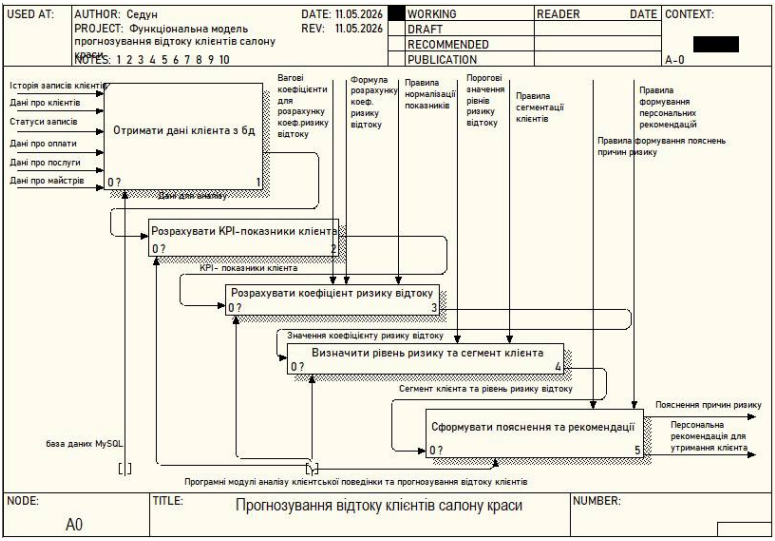


Рисунок 2. Діаграма декомпозиції першого рівня процесу прогнозування відтоку клієнтів

На діаграмах декомпозиції другого рівня деталізовано процеси розрахунку KPI-показників (рис. 3) та розрахунку коефіцієнта ризику відтоку (рис. 4).

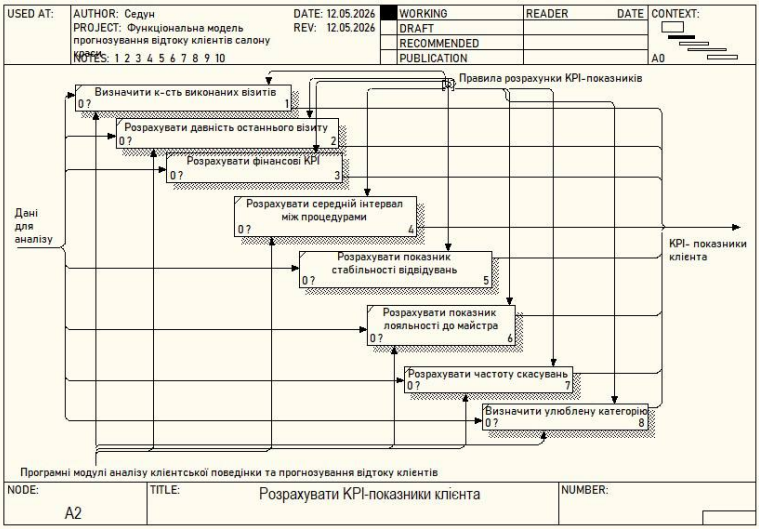


Рисунок 3. Діаграма декомпозиції другого рівня процесу розрахунку KPI-показників клієнта

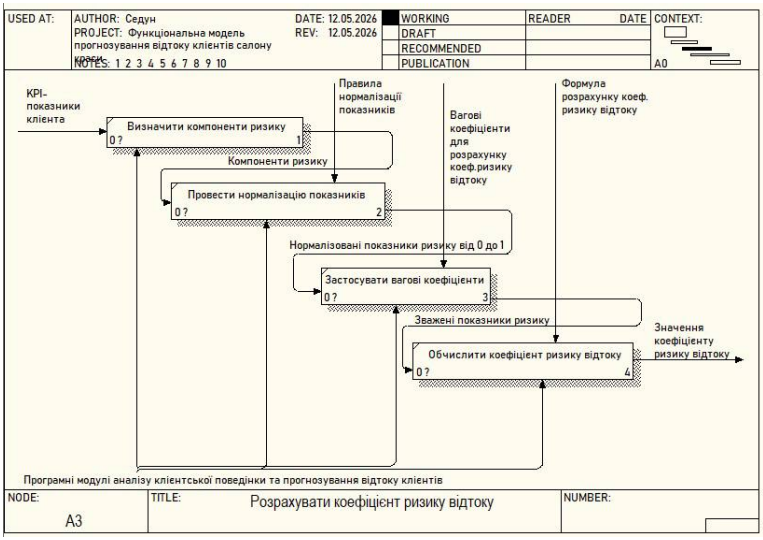


Рисунок 4. Діаграма декомпозиції другого рівня процесу розрахунку коефіцієнта ризику відтоку

Побудовані IDEF0-діаграми дозволяють змоделювати бізнес-процес прогнозування відтоку клієнтів та можуть бути використані під час проєктування та розробки інформаційної системи салону краси.

Список використаних джерел

1. Каштан С.С. Оптимізація ресурсів та автоматизація зберігання великих даних на основі методів машинного навчання. *Матеріали 1-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Стійкі системи: безпечні цифрові технології та критична інфраструктура (RS-2025)»*, м.Дрогобич, 27 червня 2025 р. / ДонНТУ. Дрогобич, 2025. С. 36-39. URL: https://doi.org/10.5281/zenodo.15775240.

2. IDEF0 Function Modeling Method. *IDEF*. URL: https://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/ (дата звернення: 10.05.2026).

3. The Complete Guide To Understand IDEF Diagram. *EdrawMax*. URL: https://edrawmax.wondershare.com/flowchart/what-is-idef-diagram.html/ (дата звернення: 10.05.2026).

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ АНОМАЛІЙ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЧАСОВИХ ГРАФІВ ТА ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Смірнов Тарас Ігорович
Національний лісотехнічний університет України, аспірант кафедри комп'ютерних наук, tarasbotkin@gmail.com
Шабатура Юрій Васильович
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, д.т.н., професор, професор кафедри фундаментальних наук

INTELLIGENT METHOD FOR DETECTING INFORMATION ANOMALIES IN SOCIAL NETWORKS BASED ON TEMPORAL GRAPHS AND GRAPH NEURAL NETWORKS

Smirnov Taras
Lviv National Forestry University of Ukraine, Postgraduate, Department of Computer Science, tarasbotkin@gmail.com
Shabatura Yurii
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Doctor of Science, Professor, Professor of the Department of Fundamental Sciences

The paper proposes a hybrid method for detecting information anomalies in social networks based on temporal graph modeling and graph neural networks. The approach integrates structural graph metrics and temporal dynamics of interactions. GraphSAGE-based embeddings are used to identify abnormal patterns of information propagation. The method improves early detection of fake information campaigns and abnormal user behavior.

Keywords: social networks, temporal graphs, anomaly detection, graph neural networks, fake information.

Сучасні соціальні мережі є складними нелінійними

динамічними системами, у яких процеси поширення інформації характеризуються високою швидкістю, масштабністю та значною варіативністю. Особливу проблему становлять дезінформаційні процеси, що формують аномальні структури взаємодій між користувачами та можуть суттєво впливати на суспільні процеси.

Аналіз сучасних досліджень показує, що більшість підходів до виявлення аномалій базуються на статичних графових моделях або простих статистичних характеристиках [5]. Такі методи не враховують часову динаміку розвитку мережі, що є критично важливим для раннього виявлення швидкоплинних інформаційних процесів, зокрема вірусного поширення фейкових повідомлень.

Метою роботи є розроблення інтелектуального методу виявлення інформаційних аномалій у соціальних мережах на основі інтеграції часових графів та графових нейронних мереж.

У роботі запропоновано підхід, який реалізується у вигляді трирівневої архітектури обробки даних соціальної мережі. На першому етапі формується часовий граф, який відображає не лише факт взаємодії між користувачами, але й момент її виникнення. У цьому випадку соціальна мережа подається у вигляді графа, де вершини відповідають користувачам, а ребра – інформаційним взаємодіям (репости, коментарі, згадки) з урахуванням часових міток. Така модель дозволяє врахувати як структуру зв'язків, так і їх зміну в часі.

На другому рівні здійснюється обчислення структурних та динамічних характеристик мережі. До основних показників належать коефіцієнт кластеризації, центральність вузлів (degree, betweenness), щільність графа, темп зростання кількості зв'язків та стабільність кластерних структур у часі. Аналіз виконується у ковзних часових вікнах, що дозволяє виявляти локальні зміни у поведінці мережі та формувати часові профілі її розвитку.

На третьому рівні застосовується графова нейронна мережа GraphSAGE [4] для формування векторних представлень вузлів. Такий підхід дає можливість врахувати як локальні взаємодії між

користувачами, так і глобальні залежності в мережі. Отримані вбудовування використовуються для класифікації аномальних патернів поширення інформації. Сучасні підходи також передбачають використання попередньо навчених моделей для аналізу складних структур даних, що підтверджує ефективність інтеграції методів штучного інтелекту [6].

Запропонований підхід дозволяє виявляти такі типи аномалій: раптове утворення щільних підграфів, різке зростання активності окремих вузлів, синхронізовану поведінку груп користувачів та нетипові маршрути поширення інформації.

Для оцінювання ефективності методу використано метрики Silhouette Score та Modularity, які широко застосовуються в задачах аналізу графових структур [1–3]. На основі узагальнення результатів попередніх досліджень очікується підвищення якості виявлення аномалій на 12–18% у порівнянні зі статичними підходами.

Практичне значення запропонованого методу полягає у можливості його застосування в системах моніторингу соціальних мереж, кібербезпеки та протидії інформаційним операціям. Особливо актуальним є його використання для раннього виявлення координованих інформаційних кампаній.

Отже, інтеграція часових графів та графових нейронних мереж дозволяє підвищити ефективність аналізу соціальних мереж і забезпечити своєчасне виявлення інформаційних аномалій.

Список використаних джерел

1. Смірнов Т. І., Шабатура Ю. В. Аналіз і візуалізація складних багаторівневих зв’язків у соціальних мережах. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. Т. 3, № 1(93). URL: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/1064

2. Смірнов Т. І., Шабатура Ю. В. Модель еволюції процесів

поширення фейкових інформаційних повідомлень у соціальних мережах. Науковий вісник НЛТУ України. 2025. Т. 35, № 6.С. 103–110. URL: https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/2819

3. Смірнов Т. І., Шабатура Ю. В. Інтелектуальний багатофакторний графовий аналіз соціальних мереж з метою ідентифікації впливових користувачів. New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions. 2025. № 29. С. 99. URL: https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/03/Marseille_France_31.03.25.pdf

4. Hamilton W. L., Ying Z., Leskovec J. Inductive representation learning on large graphs. NeurIPS, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1706.02216

5. Newman M. Networks: An Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2010.

6. Feng Z. et al. CodeBERT: A Pre-Trained Model for Programming and Natural Languages. EMNLP, 2020. DOI: 10.18653/v1/2020.findings-emnlp.139

КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТРИК ЕФЕКТИВНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

Сорокопуд Андрій Павлович
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, здобувач гр. КН-23-1б, Andrii.Sorokopud@mipolytech.education
Сагайда Павло Іванович
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, д.т.н., завідувач кафедри інформаційних технологій та аналітики даних, pavlo.sahaida@mipolytech.education

CRITICAL ANALYSIS OF PERFORMANCE METRICS FOR DATA ACCUMULATION AND PROCESSING USING MODERN DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS

Andrii Sorokopud
«TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» LLC, applicant gr. CS-23-1b, Andrii.Sorokopud@mipolytech.education
Pavlo Sahaida
«TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» LLC, Zaporizhzhia, DSc (Engineering), Head of the Department of Information Technology and Data Analytics, pavlo.sahaida@mipolytech.education

The methodology for evaluating the effectiveness of modern DBMS in the context of digital transformation has been studied. Authors analyze key metrics, which are divided into three groups: data accumulation parameters (write throughput, latency, compression), query processing indicators (read throughput, query latency, IOPS), and comprehensive system monitoring metrics (cache hit ratio, CPU/RAM usage, locking). It is substantiated that systematic monitoring of these metrics allows for timely identification of "bottlenecks," optimization of system configurations, and planning of their scaling to ensure stable work with Big Data.

Keywords: DBMS, performance, data optimization, scalability, transactions.

Вступ. Наразі в процесі впровадження Big Data та цифрової трансформації ефективне управління величезними обсягами даних є критично важливим для успіху будь-якої організації. Системи управління базами даних (СУБД) є ядром, яке забезпечує надійне накопичення та швидку обробку цієї інформації. Проте, без об'єктивної оцінки їхньої продуктивності, неможливо забезпечити стабільну та оптимальну роботу [1]. **Метою** цієї роботи є аналіз ключових метрик ефективності, які використовуються для оцінки процесів накопичення (запису) та обробки (читання/запиту) даних у сучасних СУБД [2].

1. Метрики ефективності накопичення даних. Ефективність накопичення даних (запису) безпосередньо впливає на пропускну здатність системи та її здатність витримувати високе навантаження транзакцій.

1.1. Пропускна здатність запису (Write Throughput): кількість операцій запису (транзакцій або записів), які система може виконати за одиницю часу (наприклад, записів на секунду, TPS - Transactions Per Second). Важливість: основний показник масштабованості системи. Високий Write Throughput необхідний для систем з інтенсивним навантаженням на запис (наприклад, IoT-платформи, фінансові біржі).

1.2. Латентність запису (Write Latency): час, необхідний для завершення однієї операції запису. Вимірюється як середній, 95-й або 99-й перцентиль (p95, p99) латентності, щоб оцінити продуктивність для переважної більшості запитів. Важливість: низька латентність критична для інтерактивних додатків, де користувач не повинен чекати підтвердження операції.

1.3. Коефіцієнт стиснення та використання дискового простору: співвідношення розміру сирих даних до їх розміру після стиснення та індексації. Важливість: ефективне стиснення даних (особливо в NoSQL та колонкових СУБД) знижує витрати на зберігання та може покращити швидкість читання за рахунок зменшення обсягу даних, які потрібно зчитати з диска.

2. Метрики ефективності обробки даних

Ефективність обробки даних (запитів/читання) визначає швидкість отримання інформації користувачами та додатками.

2.1. Пропускна здатність читання (Read Throughput): кількість операцій читання або запитів, які система може обробити за одиницю часу. Важливість: ключовий показник для аналітичних систем і додатків з інтенсивним читанням, де багато користувачів одночасно отримують доступ до даних.

2.2. Латентність запиту (Query Latency): час, необхідний для виконання конкретного запиту (SQL-запиту, NoSQL-операції). Також вимірюється за перцентилями (p95, p99). Важливість: безпосередньо впливає на час відгуку додатку. Висока латентність критичних запитів може паралізувати бізнес-процеси.

2.3. Кількість операцій I/O (Input/Output Operations): загальна кількість операцій читання/запису даних на фізичні пристрої зберігання (диски). Вимірюється в IOPS (I/O Operations Per Second). Важливість: показує рівень навантаження на підсистему зберігання. Низька кількість I/O при високій пропускній здатності часто свідчить про ефективне використання кешу та індексації.

3. Комплексні метрики та інструменти

Сучасні СУБД, такі як PostgreSQL, MySQL, MongoDB, Cassandra та ClickHouse, пропонують розширені механізми моніторингу, які інтегруються з комплексними метриками.

3.1. Коефіцієнт влучання кешу (Cache Hit Ratio): частка запитів, які були виконані даними, що вже знаходились у оперативній пам'яті (кеші), без необхідності доступу до диска. Важливість: один з найважливіших показників оптимізації. Високий коефіцієнт (близький до 1 або 100%) свідчить про ефективне використання пам'яті та мінімізацію повільних дискових операцій.

3.2. Навантаження на процесор та пам'ять (CPU & Memory Utilization): відсоток використання центрального процесора та оперативної пам'яті процесами СУБД. Важливість: дозволяє ідентифікувати вузькі місця (bottlenecks). Надмірне використання CPU може вказувати на неефективні запити або проблеми з

планувальником, а вичерпання пам'яті – на необхідність масштабування або оптимізації конфігурації кешу.

3.3. Блокування та взаємні блокування (Locks and Deadlocks): кількість та тривалість блокувань ресурсів (таблиць, рядків) між паралельними транзакціями та випадки взаємного блокування (deadlocks). Важливість: ці метрики прямо впливають на конкурентність та доступність системи. Часті блокування призводять до збільшення латентності та зниження пропускної здатності.

Висновки. Ефективне використання метрик накопичення та обробки даних є фундаментом для проактивного управління СУБД. Сучасні системи управління базами даних надають багатий набір інструментів для моніторингу, які дозволяють: ідентифікувати вузькі місця у продуктивності; оптимізувати конфігурацію, індексацію та структуру даних; планувати масштабування системи відповідно до зростаючого навантаження.

Упровадження постійного моніторингу ключових показників (Write/Read Throughput, Latency p95/p99, Cache Hit Ratio) забезпечує не лише стабільну роботу, але й дозволяє СУБД бути адаптивним та надійним інструментом у динамічному цифровому середовищі.

Список використаних джерел

1. Liang, X., Li, J., Wang, J. (2024). Database management system performance comparisons: A comprehensive analysis. Journal of Systems and Software, 205, article 111609. https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111609.

2. Metrics for data ingestion and processing. AWS Well-Architected Framework, DevOps Guidance. 2024. URL : https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/devops-guidance/metrics-for-data-ingestion-and-processing.html.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ЦЕНТРУ УПРАВЛІННЯ СЛУЖБИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Угрин Дмитро Ілліч
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, доцент кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор, d.ugryn@chnu.edu.ua
Ушенко Юрій Олександрович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, завідувач кафедри комп'ютерних наук, доктор фізико-математичних наук, професор, y.ushenko@chnu.edu.ua
Назарій Анна Дмитрівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра комп'ютерних наук, студентка групи КН 444а, nazarii.anna@chnu.edu.ua

INTELLIGENT RECOMMENDATION SYSTEM FOR THE EMERGENCY SERVICES CONTROL CENTRE

Dmytro Uhryn
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Professor of the Department of Computer Science, Doctor of Technical Sciences, Professor, d.ugryn@chnu.edu.ua
Yuriy Usenko
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chair of the Department of Computer Science, Doctorof Physical and Mathematical Sciences, Professor, y.ushenko@chnu.edu.ua
Anna Nazarii
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Computer Science, student, nazarii.anna@chnu.edu.ua

The paper addresses the problem of automated classification of emergency situation reports using a transformer-based deep learning model. A rule-based recommendation subsystem is proposed that determines the optimal response actions based on the classified

incident type and urgency level. The approach enables faster and more accurate decision-making at emergency service control centres.

Keywords: emergency services, text classification, transformer model, recommendation system, NLP.

Служби надзвичайних ситуацій щодня обробляють значну кількість повідомлень від громадян, що надходять телефоном, через мобільні додатки або у текстовій формі. Операторам центру управління необхідно швидко та точно класифікувати тип події, оцінити її критичність і визначити склад сил та засобів для реагування. Ручна обробка таких повідомлень є трудомісткою і схильною до помилок, особливо в умовах одночасного надходження кількох запитів [1]. Тому розробка інтелектуальної рекомендаційної системи, здатної автоматизувати цей процес, є актуальною науково-прикладною задачею.

Основою запропонованої системи є двоетапна обробка текстових повідомлень. На першому етапі застосовується методи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP): токенізація, нормалізація та векторне представлення тексту. На другому – нейромережева класифікація на базі Transformer-архітектури [2]. Трансформерні моделі зарекомендували себе як найефективніший підхід до задач розуміння тексту завдяки механізму самоуваги (self-attention), який дає змогу враховувати контекстні залежності між словами незалежно від їхньої відстані у реченні.

Система вирішує дві класифікаційні задачі: визначення типу надзвичайної події (пожежа, ДТП, витік газу, затоплення, медична ситуація) та рівня терміновості (LOW, MEDIUM, HIGH, CRITICAL). Для цього використовується модель XLM-RoBERTa – багатомовна Transformer-модель, що дозволяє обробляти тексти як українською, так і іншими мовами без попереднього перекладу. Модель донавчається (fine-tuning) на спеціально розміченому наборі даних, що містить реальні зразки повідомлень про надзвичайні ситуації. Архітектуру системи наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Модулі інтелектуальної рекомендаційної системи

Модуль	**Технологія / метод**	**Функція**
NLP-препроцесинг	Hugging Face Tokenizers	Токенізація, нормалізація тексту
Класифікатор подій	XLM-RoBERTa (fine-tuning)	Тип події та рівень терміновості
Рекомендаційна підсистема	Rule-based engine	Формування переліку дій реагування
Геолокаційний модуль	Geocoding API / Haversine	Визначення координат події та найближчого підрозділу

Після класифікації активується рекомендаційна підсистема на основі правил (rule-based engine). Вона формує перелік конкретних дій реагування залежно від комбінації типу події та рівня терміновості. Наприклад, при виявленні пожежі з рівнем CRITICAL система рекомендує: виклик підрозділу ДСНС, направлення щонайменше двох машин, організацію евакуації та виклик медичної допомоги. Такий підхід забезпечує прозорість і передбачуваність рішень, що є критично важливим для служб надзвичайних ситуацій.

Геолокаційний модуль системи перетворює текстову адресу події на географічні координати за допомогою Geocoding API. Для визначення найближчого підрозділу служби застосовується формула Гаверсина, яка обчислює точну відстань між двома точками на поверхні сфери з урахуванням кривизни Землі. Це дає змогу оперативно направляти до місця події той підрозділ, що зможе прибути найшвидше.

Архітектура системи реалізується мовою Python із використанням фреймворку PyTorch для навчання нейромережевої моделі та бібліотеки Hugging Face Transformers для роботи з XLM-RoBERTa [3]. Інтеграція NLP-класифікатора з рекомендаційною підсистемою і геолокаційним модулем формує єдиний конвеєр обробки: текстове повідомлення → класифікація типу та терміновості → рекомендації щодо реагування → визначення найближчого підрозділу → підсумковий результат для оператора.

За результатами попереднього тестування системи на навчальному наборі даних із 500 розмічених повідомлень модель XLM-RoBERTa досягла точності класифікації типу події на рівні 91% та класифікації рівня терміновості — 87%. Середній час обробки одного повідомлення складає близько 1,2 секунди, що відповідає вимогам реального часу для диспетчерських систем. Геолокаційний модуль коректно визначав найближчий підрозділ у 96% тестових випадків. Таким чином, система скорочує час ухвалення рішення і знижує ймовірність помилки диспетчера.

Список використаних джерел

1. Enhancing Disaster Response and Public Safety with Advanced Social Media Analytics and Natural Language Processing | Engineering, Technology & Applied Science Research. Engineering, Technology & Applied Science Research. (3 June 2024).
URL: https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/7232?utm_source=chatgpt.com .

2. LLM-Augmented VoIP for Emergency Call Triage. Science Direct. (September 2025).
URL: https://doi.org/10.1016/j.meadig.2025.100010.

3. The Evaluation of Transformer Models for the Detection of Adverse Drug Events: A Benchmark Study Using Dutch Free-Text Documents of Hospitalized Patients - Drug Safety. (February 2026).
URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s40264-026-01655-9

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДАНИХ

Хиць Руслан Андрійович
Луцький національний технічний університет,
асистент, кафедра комп'ютерних наук, ruslanioc@lntu.edu.ua

APPLICATION OF MACHINE LEARNING FOR DATA CLASSIFICATION

Khyts Ruslan Andriiovych
Lutsk National Technical University,
assistant, Department of Computer Science, ruslanioc@lntu.edu.ua

Machine learning has become a key tool for solving data classification problems across various domains including medicine, finance, cybersecurity and natural language processing. This paper examines the fundamental approaches to classification: decision trees, support vector machines, k-nearest neighbours, naive Bayes classifier, and deep neural networks. Evaluation metrics, preprocessing techniques, and ensemble methods are discussed. Practical recommendations for algorithm selection based on data characteristics are provided, along with an overview of modern software tools for implementation.

Keywords: machine learning, classification, supervised learning, decision tree, neural network, support vector machine, ensemble methods, scikit-learn, data preprocessing.

Вступ. Машинне навчання (МН) є одним із найбільш перспективних напрямів сучасної комп'ютерної науки. За останнє десятиліття інтерес до цієї галузі суттєво зріс завдяки доступності великих обсягів даних, зростанню обчислювальних потужностей та появі ефективних відкритих бібліотек. Задача класифікації – одна з найпоширеніших у практичних застосуваннях: від медичної діагностики та фільтрації спаму до кредитного скорингу, виявлення кібератак і розпізнавання образів. Правильний вибір алгоритму класифікації суттєво впливає на якість, ефективність і масштабованість системи [1].

Постановка задачі класифікації. У задачі класифікації задано навчальну вибірку $X = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots, (x_n, y_n)\}$, де x_i – вектор ознак об'єкта, а $y_i \in \{C_1, C_2, \ldots, C_k\}$ – його клас. Метою є побудова функції $f: X \to Y$, що мінімізує помилку класифікації на нових, раніше не бачених даних. Розрізняють бінарну класифікацію ($k = 2$) та багатокласову ($k > 2$). Особливим випадком є багатомічна класифікація, коли один об'єкт може належати одночасно до кількох класів [2].

Основні алгоритми класифікації. Серед методів навчання з учителем (supervised learning) виділяють такі підходи. Дерева рішень (Decision Trees) будують ієрархічну структуру правил розбиття простору ознак. Алгоритм CART використовує індекс Джині як критерій розщеплення, а C4.5 – ентропію інформаційного виграшу. Перевагами є висока інтерпретованість та відсутність потреби у нормалізації даних. Недолік – схильність до перенавчання на малих вибірках [1].

Метод опорних векторів (Support Vector Machine, SVM) шукає гіперплощину максимального зазору між класами у трансформованому просторі ознак. Завдяки ядровим функціям (RBF, поліноміальне, сигмоїдне ядро) SVM ефективно вирішує нелінійно роздільні задачі. Метод демонструє стабільні результати при обмежених обсягах даних і у просторах великої розмірності, що робить його особливо придатним для класифікації текстів та біоінформатики [2].

Алгоритм k найближчих сусідів (k-NN) відносить об'єкт до класу, який найчастіше зустрічається серед k найближчих за евклідовою (або іншою) метрикою сусідів у навчальній вибірці. Метод є непараметричним і легко розширюється на багатокласові задачі, однак повільно працює на великих датасетах через необхідність повного перегляду вибірки під час передбачення [3].

Наївний байєсівський класифікатор (Naive Bayes) базується на теоремі Байєса з припущенням умовної незалежності ознак. Попри спрощеність цього припущення, метод досягає конкурентоспроможних результатів у задачах класифікації текстів, фільтрації спаму та медичної діагностики завдяки обчислювальній ефективності та стійкості до незначних

порушень незалежності ознак [3].

Нейронні мережі та глибоке навчання. Багатошарові перцептрони (MLP) та глибокі нейронні мережі (DNN) здатні автоматично навчатися ієрархічним представленням даних. Згорткові нейронні мережі (CNN) забезпечують точність до 97–99% на задачах класифікації зображень завдяки механізму локальних рецептивних полів. Рекурентні мережі (RNN, LSTM) орієнтовані на послідовні дані – текст і часові ряди. Головний недолік – висока обчислювальна вартість навчання та потреба у великих обсягах розмічених даних [1].

Ансамблеві методи. Random Forest будує множину незалежних дерев рішень на випадкових підвибірках даних і ознак, усереднюючи їхні передбачення. Gradient Boosting (XGBoost, LightGBM, CatBoost) послідовно навчає дерева, кожне з яких виправляє помилки попередніх. Ці методи є де-факто стандартом для табличних даних і регулярно перемагають на змаганнях з машинного навчання (Kaggle) [4].

Метрики оцінювання. Для порівняння алгоритмів використовуються: точність (accuracy) – частка правильних передбачень; прецизійність (precision) і повнота (recall) – особливо важливі при незбалансованих класах; F1-міра – гармонічне середнє precision і recall; площа під ROC-кривою (AUC-ROC) – інтегральна характеристика якості бінарного класифікатора. При незбалансованих класах accuracy є оманливою метрикою, тому рекомендується використовувати F1-macro або AUC-ROC [2].

Попередня обробка даних. Якість класифікації суттєво залежить від підготовки даних. Основні етапи: нормалізація або стандартизація числових ознак (важлива для SVM, k-NN, нейронних мереж); кодування категоріальних змінних (One-Hot Encoding, Label Encoding); заповнення пропущених значень (медіана, середнє, k-NN imputaton); відбір та конструювання ознак (feature selection, PCA). Некоректна обробка може звести нанівець переваги навіть найпотужнішого алгоритму [4].

Програмні засоби реалізації. Бібліотека scikit-learn (Python) надає уніфікований API для більшості класичних алгоритмів

класифікації, включаючи засоби крос-валідації, підбору гіперпараметрів (GridSearchCV, RandomizedSearchCV) та побудови pipeline. TensorFlow і PyTorch є стандартом для проєктування та навчання глибоких нейронних мереж. XGBoost і LightGBM пропонують високооптимізовані реалізації методів градієнтного бустингу з підтримкою GPU [4].

Висновки. Проведений аналіз показав, що не існує єдиного універсального алгоритму класифікації: вибір методу визначається обсягом та природою даних, вимогами до інтерпретованості моделі, допустимим часом навчання та передбачення, а також доступними обчислювальними ресурсами. Для табличних даних оптимальним вибором є методи ансамблювання (Random Forest, XGBoost); для зображень – CNN; для текстів – трансформерні моделі або Naive Bayes при малих вибірках. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизований вибір і налаштування моделей (AutoML), методи навчання з малою кількістю прикладів (few-shot learning) та пояснювальний штучний інтелект (XAI).

Список використаних джерел

1. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022. 861 p.

2. Murphy K. P. Probabilistic Machine Learning: An Introduction. Cambridge: MIT Press, 2022. 864 p.

3. Mitchell T. M. Machine Learning. New York: McGraw-Hill, 1997. 432 p.

4. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. 2001. Vol. 45, No. 1. P. 5–32.

ГІБРИДНА СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ НА ОСНОВІ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА КОНТЕНТНОГО АНАЛІЗУ

Хомов Денис Олександрович
Волинський національний університет імені Лесі Українки, студент факультету інформаційних технологій і математики, e-mail: Khomov.Denys2022@vnu.edu.ua
Булатецька Леся Віталіївна
Волинський національний університет імені Лесі Українки, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: Bulatetska.Lesya@vnu.edu.ua

HYBRID MOVIE RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON COLLABORATIVE FILTERING AND CONTENT ANALYSIS

Denys O. Khomov
Lesya Ukrainka Volyn National University, Student of the Faculty of Informations Technologies and Mathematics, e-mail: Khomov.Denys2022@vnu.edu.ua
Lesia V. Bulatetska
Lesya Ukrainka Volyn National University, PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Science and Cybersecurity, e-mail: Bulatetska.Lesya@vnu.edu.ua

The paper presents the development of a web-based movie catalog with an integrated hybrid recommendation system. The architecture combines a Laravel application with a dedicated Python microservice that builds a content-based model (TF-IDF over genres and cast, normalized release year) and a collaborative-filtering model based on Truncated SVD of the user–movie rating matrix with global mean centering and per-user bias correction. The final score is a weighted min-max-normalized blend of both signals. An administrative panel enables on-demand retraining, monitoring of training-step durations, singular-value spectrum, rating distribution and RMSE on a holdout sample.

Keywords: recommender system, collaborative filtering, content-based filtering, hybrid model, Truncated SVD, TF-IDF, Laravel, FastAPI, machine learning.

Стрімке зростання обсягів кіноконтенту в стрімінгових сервісах робить задачу персоналізованого пошуку фільмів критично важливою для утримання користувача та якості його дозвілля.

Класичні каталоги з пошуком за жанром або роком випуску не враховують індивідуальних уподобань, тому в індустрії дедалі активніше застосовують рекомендаційні системи [1]. Сучасні підходи поділяють на три великі групи: контентні моделі, що спираються на ознаки самих об'єктів; колаборативні моделі, що використовують матрицю "користувач-об'єкт", та гібридні моделі, які поєднують їхні переваги й нівелюють відомі проблеми "холодного старту" й розрідженості даних [2]. Низькорангова матрична факторизація на основі SVD є одним із базових алгоритмів колаборативної фільтрації та продовжує демонструвати конкурентну якість на промислових датасетах [3]. Водночас на ринку домінують рішення, інтеграція яких у власні проєкти суттєво обмежена через закритість моделей та вартість.

Зважаючи на це, актуальною є розробка відкритої гібридної рекомендаційної системи, яка тісно інтегрується з реляційною базою даних вебдодатку та надає адміністратору прозорі засоби моніторингу процесу навчання моделі.

У роботі розроблено вебзастосунок-каталог фільмів на основі фреймворка Laravel із SPA-фронтендом на React. Користувачі мають можливість залишати багатокритеріальні оцінки фільмів (загальна оцінка, сюжет, гра акторів, візуальна складова, музика), формувати персональний профіль перегляду та отримувати персоналізовані рекомендації.

Ядром системи є окремий ML-мікросервіс на Python, який реалізує гібридну модель рекомендацій. Контентна складова формує єдину розріджену матрицю ознак фільмів шляхом конкатенації трьох блоків: TF-IDF-представлення жанрів, TF-IDF-представлення топ-N акторів та нормалізованого року випуску; профіль користувача обчислюється як зважена сума L2-нормалізованих ознак переглянутих фільмів із центруванням за середньою оцінкою користувача. Колаборативна складова використовує усічене сингулярне розкладання (Truncated SVD)

центрованої матриці оцінок із подальшим відновленням прогнозу за формулою $\hat{r}(u,i) = \mu + b_u + (U \cdot V^T)[u,i]$. Фінальний рейтинг є зваженою лінійною комбінацією min-max-нормалізованих оцінок обох моделей.

Перерахунок рекомендацій для конкретного користувача запускається автоматично через систему черг Laravel після накопичення ним порогової кількості нових оцінок, що забезпечує своєчасну адаптацію моделі до змін уподобань без надмірного навантаження на сервіс.

Запропонована архітектура з виділеним ML-сервісом дозволяє масштабувати рекомендаційний модуль незалежно від основного вебзастосунку, а прозорі засоби моніторингу спрощують подальше налаштування параметрів моделі та контроль якості рекомендацій у виробничому середовищі.

Список використаних джерел

1. Річчі Ф., Роках Л., Шапіра Б. Recommender Systems Handbook. New York : Springer, 2022.

2. Берк Р. Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments. 2002.

3. Корен Є., Белл Р., Волінський К. Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems. 2009.

4. Аггарвал Ч. Recommender Systems: The Textbook. New York : Springer, 2016.

ВЕБОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СПІЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ СПИСКАМИ З КОНТРОЛЕМ ДОСТУПУ

Швець Дарія Павлівна
здобувачка вищої освіти, факультет комп'ютерних та інформаційних технологій Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, daria.shvets.74@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
асистент, кафедра комп'ютерних наук
Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

WEB-ORIENTED INFORMATION SYSTEM FOR COLLABORATIVE MANAGEMENT OF PERSONAL LISTS WITH ACCESS CONTROLOPIC IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Shvets Dariia Pavlivna
Student, Faculty of Computer and Information Technologies
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine,
daria.shvets.74@gmail.com
Nedilko Olha Volodymyrivna
Assistant Professor, Department of Computer Science
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine,
o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents a web-oriented information system for collaborative management of personal lists with a hierarchical access control model. The system is built on ASP.NET Core Web API and Blazor Interactive Server, using SQL Server 2022, Dapper ORM, and JWT authentication. A multilevel permission model with column-level granularity – covering list-level and column-level rights – is designed and implemented.

Keywords: ASP.NET Core, Blazor, SQL Server, JWT, xUnit, access control, collaborative system

Спільне ведення списків є однією з найпоширеніших форм цифрової колаборації – люди разом планують покупки, подарунки, перегляди, читання, подорожі. Попит на зручні інструменти для такої взаємодії стабільно зростає разом із доступністю хмарних сервісів і зростанням кількості людей, які звикли координувати повсякденні справи онлайн. Незважаючи на це, більшість наявних рішень пропонують лише базовий спільний доступ: учасник або бачить увесь список, або не бачить нічого. Платформи на зразок Wishlistr чи WishPal орієнтовані на перегляд, але позбавлені рольових механізмів. Потужніші інструменти – Trello, Notion, Microsoft To Do – надмірно складні для управління простими списками і також не вирішують задачу тонкого розмежування прав на рівні окремих полів. Практичні ж сценарії часто потребують саме такого підходу: одному учаснику достатньо переглядати певні поля, іншому – їх редагувати, третьому – керувати самою структурою списку. Проведений аналіз ринку підтвердив: жодне з існуючих рішень не надає можливості гранульованого розмежування прав на рівні окремих атрибутів колаборативного списку. Ця прогалина визначила мету дослідження.

Було вирішено розробити веборієнтовану інформаційну систему для спільного управління персональними списками, головним науковим результатом якої є дворівнева ієрархічна модель контролю доступу. Перший рівень охоплює список загалом і визначає, що саме учасник може робити з його вмістом та структурою: переглядати елементи, додавати й редагувати їх, змінювати набір стовпців або управляти правами інших учасників. Перелічені права є незалежними й можуть надаватися у довільних комбінаціях, що дозволяє точно описати роль кожного учасника відповідно до реальних потреб. Другий рівень моделі діє окремо для кожного стовпця – права перегляду й редагування конкретного поля призначаються незалежно від прав першого рівня та від налаштувань для інших полів. Завдяки цьому стають можливими сценарії, де один учасник бачить лише частину полів, а інший може редагувати лише певну їх підмножину. Власник списку зберігає повний контроль над усім

його вмістом, тоді як запрошені учасники отримують лише явно визначені права. Додатково кожен учасник може самостійно приховати певні стовпці у своєму інтерфейсі без зміни фактично призначених прав – суто для зручності власного відображення. Такий підхід відповідає сучасним принципам атрибутно-рольового контролю доступу і дозволяє будувати складні моделі колаборації, недоступні в типових хмарних сервісах [2].

З технічного погляду систему реалізовано як повноцінний веб-застосунок із серверним API та інтерактивним браузерним інтерфейсом, побудованими на єдиній технологічній платформі з єдиною мовою програмування – це суттєво скорочує розрив між бізнес-логікою на сервері та поведінкою на клієнті та спрощує подальший супровід коду [3, 4]. Інтерфейс реалізовано адаптивним і розрахованим на широкий діапазон роздільних здатностей екранів. Зберігання даних організовано у реляційній базі; усі запити до неї є параметризованими, що усуває цілий клас поширених вразливостей. Схема бази даних версіонується декларативно, що дозволяє відтворювати середовище автоматично під час розгортання. Автентифікація побудована на стандарті токенного підпису, де цілісність кожного запиту до API перевіряється на стороні сервера, а конфігураційні секрети зберігаються поза кодовою базою відповідно до актуальних практик безпечної розробки [1, 5]. Для підтвердження коректності логіки розмежування прав розроблено набір модульних тестів, що охоплюють різні ролі та комбінації дозволів. Тести виконуються в повністю ізольованому середовищі без залежності від зовнішніх ресурсів, що забезпечує їхню відтворюваність і стабільність, а регресії у логіці доступу виявляються ще до розгортання системи [2].

Практична цінність розробки виходить за межі конкретного застосунку. Запропонована модель контролю доступу є узагальненою і може бути адаптована для широкого кола систем, де різні учасники мають взаємодіяти зі спільними структурованими даними з різним рівнем видимості окремих атрибутів. Прикладами таких сценаріїв є командні реєстри із частково конфіденційними полями, освітні платформи з різними

ролями викладача та студента, системи управління проєктами з обмеженою видимістю фінансових або статусних даних. У кожному з цих випадків ключова ідея залишається тією самою: право бачити певне поле і право його змінювати є незалежними й мають призначатися окремо, а не єдиним перемикачем. Саме ця ідея є центральним науковим внеском роботи. Модульна архітектура системи полегшує її розширення та інтеграцію з іншими сервісами. Серед перспективних напрямів подальшого розвитку – реалізація мобільного клієнта, механізм сповіщень про зміни у даних, розширені адміністративні інструменти та підтримка сторонніх провайдерів автентифікації.

Список використаних джерел

1. Berardi D., Giallorenzo S., Mauro J., Melis A., Montesi F., Prandini M. Microservice security: a systematic literature review. PeerJ Computer Science. 2022. T. 8. e779. URL: https://doi.org/10.7717/peerj-cs.779 (дата звернення: 01.05.2026).

2. Bui T., Matricia A., Contreras E., Mauvais R., Medina L., Serrano I. ABAC Lab: An Interactive Platform for Attribute-based Access Control Policy Analysis, Tools, and Datasets. Proceedings of the 30th ACM Symposium on Access Control Models and Technologies (SACMAT 2025), Stony Brook, NY, USA, 10 July 2025. ACM, 2025. URL: https://doi.org/10.1145/3734436.3734441 (дата звернення: 02.05.2026).

3. Hållberg J. Evaluating Blazor Rendering Modes: A Comparative Study of Interactive WebAssembly, Interactive Server, and Interactive Auto Rendering. 2025. 45 p. URL: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1970611/FULLTEXT01.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

4. Ding B. Web Applications with ASP.NET Core Blazor: Create Powerful, Responsive, and Engaging Web Applications. Berlin : Mercury Learning and Information, 2024. URL: https://doi.org/10.1515/9781501519475 (дата звернення: 04.05.2026).

5. Lock A. ASP.NET Core in Action. 3rd ed. Shelter Island : Manning, 2023. 984 p. ISBN 978-1-6334-3862-0.

ГІБРИДНИЙ МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦІЇ МОНОЛІТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ СТАТИЧНОГО ГРАФА ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТА ДИНАМІЧНИХ ТРАС ВИКОНАННЯ

Шестакович Маркіян Олегович
Національний лісотехнічний університет України, аспірант кафедри комп'ютерних наук
Шабатура Юрій Васильович
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, д.т.н., професор, професор кафедри фундаментальних наук

HYBRID METHOD FOR DECOMPOSITION OF MONOLITHIC INFORMATION SYSTEMS BASED ON THE COMBINATION OF A STATIC DEPENDENCY GRAPH AND DYNAMIC EXECUTION TRACES

Shestakovych Markiyan
Lviv National Forestry University of Ukraine, Postgraduate, Department of Computer Science
Shabatura Yurii
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Doctor of Science, Professor, Professor of the Department of Fundamental Sciences

The paper proposes a hybrid method for decomposing monolithic information systems by combining static dependency analysis with dynamic execution traces. The static graph reveals structural relationships among classes, while runtime traces capture frequency, temporal correlation and data flow of real business scenarios. The integration enriches GraphSAGE embeddings, improving microservice boundary detection.

Keywords: monolithic architecture, microservices, graph neural networks, static analysis, dynamic tracing, hybrid decomposition

Декомпозиція монолітних інформаційних систем у мікросервісну архітектуру є одним із пріоритетних напрямів

модернізації сучасного програмного забезпечення, особливо для систем управління критичною інфраструктурою та інформаційних систем військового призначення, де від коректного поділу залежить стійкість до часткових відмов та можливість оперативного оновлення без переривання роботи. Сучасні автоматизовані методи декомпозиції здебільшого спираються на статичний аналіз вихідного коду — побудову графа залежностей між класами програмної системи. У попередніх дослідженнях авторів запропоновано метод декомпозиції на основі графових нейронних мереж GraphSAGE з вбудовуваннями CodeBERT [1, 2] зі значенням метрики Silhouette Score 0,69 порівняно з базовою кластеризацією 0,24.

Водночас суто статичний аналіз фіксує лише ті залежності, які явно присутні у коді, тоді як реальна поведінка системи містить значно багатшу інформацію — частоту спільних викликів компонентів, часову кореляцію їх активації, обсяги переданих даних. Декомпозиція, яка ігнорує динамічну поведінку, ризикує розділити компоненти, що насправді утворюють єдиний функціональний блок, або об'єднати ті, що мають слабкий runtime-зв'язок попри формальну синтаксичну спорідненість [3].

Метою дослідження є розроблення концепції гібридного методу декомпозиції монолітних інформаційних систем, який інтегрує статичний граф залежностей із динамічними трасами виконання. Запропонований метод базується на чотирирівневій архітектурі обробки. На першому рівні паралельно виконуються дві гілки: статична будує орієнтований граф класів за директивами імпорту, викликами методів та відношеннями наслідування з присвоєнням кожному вузлу семантичного вбудовування CodeBERT [4]; динамічна інтегрує у моноліт агента розподіленого трасування OpenTelemetry та агрегує зібрані траси у графі співучасті, де вага ребра визначається частотою спільної появи в одній транзакції, часовою кореляцією виконання та обсягом переданих даних. На другому рівні два графи об'єднуються у єдину гетерогенну структуру з типізованими ребрами, а GraphSAGE [5] адаптується для агрегації повідомлень окремо по кожному типу зв'язку. На третьому рівні отримані

вбудовування кластеризуються методом k-середніх, формуючи кандидатів у мікросервіси.

Для попередньої оцінки потенціалу запропонованого підходу здійснено прогнозування його ефективності на основі екстраполяції раніше опублікованих результатів авторів та літературних даних щодо аналогічних гібридних методів. Прогнозовані значення метрик якості декомпозиції для гібридного методу (Silhouette Score 0,78; Modularity Q 0,71) обґрунтовані опублікованими результатами споріднених підходів [3], що поєднують статичний і динамічний аналіз і демонструють приріст метрик у діапазоні 10–15% порівняно з чисто статичними рішеннями. Очікувані переваги гібридного підходу полягають у виявленні прихованих runtime-залежностей між компонентами, що активуються разом через події або черги повідомлень без прямих синтаксичних зв'язків; можливості пріоритезації мікросервісів за фактичним навантаженням; обґрунтованому ранжуванні ризиків міграції за критичністю компонента у виконанні бізнес-транзакцій.

Для систем військового призначення гібридний підхід має додаткове значення: аналіз динамічних трас на репрезентативних бойових сценаріях дозволяє виявити групи компонентів, що забезпечують виконання критичних функцій (планування, координація, передача наказів), і виділити їх в автономні мікросервіси з підвищеним пріоритетом доступності, створюючи передумови для архітектури з контрольованою деградацією, де відмова допоміжних мікросервісів не впливає на виконання критичних бойових завдань.

Запропонована концепція потребує подальшої експериментальної верифікації на репрезентативних монолітних застосунках із попередньо інструментованим runtime-середовищем. Перспективи подальших досліджень містять формалізацію метрики якості гібридної декомпозиції та інтеграцію запропонованого методу з підходами на основі великих мовних моделей [6].

Список використаних джерел

1. Шестакович М. О., Шабатура Ю. В. Технологія декомпозиції фронтенд-монолітних вебзастосунків на мікрофронтенди методом кластеризації їх гетерогенних графів. Науковий вісник НЛТУ України. 2025. Т. 35, № 4. С. 159–165. DOI: 10.36930/40350418.

2. Шестакович М. О., Шабатура Ю. В. Метод декомпозиції монолітних архітектур інформаційних систем з використанням графових нейронних мереж. Вісник Хмельницького національного університету. 2025. № 6, Ч. 2 (359). С. 379–384.

3. Krause A., Zirkelbach C., Hasselbring W. Microservice Decomposition via Static and Dynamic Analysis of the Monolith. IEEE ICSA-C, 2020. P. 9–16. DOI: 10.1109/ICSA-C50368.2020.00011.

4. Feng Z. et al. CodeBERT: A Pre-Trained Model for Programming and Natural Languages. EMNLP, 2020. DOI: 10.18653/v1/2020.findings-emnlp.139.

5. Hamilton W. L., Ying Z., Leskovec J. Inductive Representation Learning on Large Graphs. NeurIPS, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1706.02216.

6. Sellami K. et al. Contrastive Learning-Enhanced Large Language Models for Monolith-to-Microservice Decomposition. Empirical Software Engineering. 2025. DOI: 10.1007/s10664-025-10732-z.

HIGH-BANDWIDTH LINUX IPC IN HPC ENVIRONMENTS: PERFORMANCE ANALYSIS AND ENGINEERING GUIDELINES

Danyliuk Ivan Mykhailovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Applied Mathematics and Information Technologies,
i.danyliuk@chnu.edu.ua

The paper examines classical interprocess communication (IPC) mechanisms in Linux under high-performance computing (HPC) throughput constraints. It analyses large-message bandwidth, the cumulative system-call cost in tight loops after Spectre/Meltdown mitigations, and NUMA-induced bandwidth losses. A simple cost model decomposes per-message time into syscall, copy and synchronisation components and supports a decision framework for five typical HPC scenarios.

Keywords: interprocess communication; Linux kernel; high-performance computing; throughput; NUMA; system call; shared memory; io_uring; eBPF.

Among the five classical Linux IPC families – anonymous and named pipes, System V and POSIX message queues, shared memory with semaphores, and Unix domain sockets – small-message latency is dominated by whether the data path crosses the kernel boundary; shared memory with lightweight synchronisation typically reaches sub-microsecond latency, whereas pipes and Unix sockets sit in the low-microsecond range and message queues are substantially slower [1; 4]. For HPC workloads, however, throughput at large messages, the cumulative cost of syscalls in tight loops, and the impact of NUMA topology become equally decisive [1; 2]. This study analyses throughput of the five mechanisms at large message sizes, estimates the syscall cost after Spectre and Meltdown mitigations, evaluates the NUMA effect, and formulates practical recommendations supported by a simple cost model and a decision framework.

Throughput at large messages. Pipes, FIFOs and message queues require a double copy through the kernel buffer; for a 1 MB message, two memcpy operations of 2 MB total consume ~40 µs on a 50 GB/s memory subsystem [4]. Shared memory needs no copy: the producer writes into the segment and the consumer reads it; bandwidth is bounded only by the cache hierarchy and main memory (20–100 GB/s) [2]. Per-message cost decomposes as

$$T_{\text{IPC}} = T_{\text{syscall}} + T_{\text{copy}}(N) + T_{\text{sync}} \quad (1)$$

for shared memory the first two terms collapse to zero [1]. Unix sockets and pipes show similar throughput, both limited by the double copy. Table 1 consolidates throughput for a representative 1 MB transfer.

Table 1. Throughput comparison of Linux IPC mechanisms (1 MB messages)

Mechanism	Throughput	Copies/ op	Buffer tuning
Pipe / FIFO	10–20 GB/s	2	limited (64 KB)
System V message queue	3–8 GB/s	2	via procfs
POSIX message queue	5–10 GB/s	2	via procfs
Shared memory	50+ GB/s	0	not applicable
Unix domain socket	10–20 GB/s	2	SO_SNDBUF / SO_RCVBUF

System call overhead. Spectre-class mitigations (IBRS, retpoline, KPTI) raised the cost of a simple syscall such as getpid from 45–90 ns to 100–230 ns, and a full process context switch costs 1.3–1.6 µs on contemporary kernels [3]. With model (1), the time of N messages of size S over a kernel-mediated mechanism is

$$\mathrm{T_{total}(N,S) = N \cdot \left(T_{syscall} + 2S/B + T_{sync}\right)}, \quad (2)$$

where B is the effective memcpy bandwidth. For $\mathrm{T_{syscall}} \approx 200$ ns, $\mathrm{B} \approx 50$ GB/s, $\mathrm{T_{sync}} \approx 100$ ns, the crossover at which copying dominates the syscall is $\mathrm{S} \approx 7.5$ KB; at one million msg/s the syscall overhead alone reaches 12–24 ms per core per minute, while shared

memory eliminates it on the data path.

NUMA topology. On modern multi-socket servers physical memory is partitioned among CPU sockets, with much faster local than remote access [2]. Ignoring NUMA when shared memory is used can degrade performance by 30–64 % relative to the optimal layout [2; 5]. Explicit memory binding through numactl --membind or mbind(), and process binding through numactl --cpunodebind or taskset, are mandatory: a process and its working set must reside in the same NUMA node [5]. Peak throughput often requires a two-level layout – per-NUMA-node shared segments combined with cross-node aggregation through MPI primitives.

HPC scenarios.

Intranode MPI exchange: OpenMPI/MPICH automatically use shared-memory transports; MPI 4.x one-sided primitives [5] turn MPI into a thin layer over shared memory.

Tight producer-consumer: shared memory with lock-free std::atomic synchronisation yields sub-microsecond latency; futex-based ring buffers improve throughput by up to 90 % over spinlocks under contention [6].

One-to-many fan-out: Unix SOCK_DGRAM or POSIX message queues are more natural than per-consumer pipes.

Pipeline parallelism: chains of unidirectional pipes give natural back-pressure; above ~100 K msg/s per stage, shared-memory ring buffers eliminate the syscall floor.

Hybrid MPI + OpenMP: production codes combine MPI between nodes with OpenMP inside, leaving classical IPC as a thin glue layer [5]. Table 2 maps the dominant requirement to the preferred mechanism.

Table 2. Decision framework for IPC selection in HPC scenarios («●» primary, «○» acceptable, «–» not recommended)

Requirement	Shm	Pipe	UDS	MQ	io_uring
Min latency	●	○	○	–	○
Max throughput	●	–	○	–	○
Fan-out	○	–	●	●	○
Robust queue	○	●	○	●	○
Code simplicity	–	●	●	●	–

Conclusions. Shared memory delivers the highest throughput for large messages; pipes and Unix sockets remain acceptable at moderate bandwidth, while message queues are bandwidth-poor by architecture. The cost model (1)–(2) identifies the crossover at $S \approx 7.5$ KB beyond which copying, not the syscall, dominates. Spectre/Meltdown mitigations make shared memory even more attractive in tight loops, and explicit NUMA binding is mandatory on multi-socket servers. io_uring [7] reduces the syscall floor through ring-based asynchronous I/O; eBPF (bpftrace, bcc) provides near-zero-overhead introspection of IPC traffic without code changes.

References

1. Venkataraman, A., & Jagadeesha, K. K. (n.d.). *Evaluation of inter-process communication mechanisms* [Tech. report]. University of Wisconsin–Madison.

2. Lameter, C. (2013). NUMA: An overview. *Communications of the ACM, 56*(9), 59–65.

3. Upadhyay, A. (2025). *What makes system calls expensive: A Linux internals deep dive*. Confessions of a Code Addict.

4. Kerrisk, M. (2010). *The Linux programming interface*. No Starch Press.

5. Adam, J., et al. (2024). To share or not to share: A case for MPI in shared-memory. *EuroMPI 2024*, 89–102.

6. Howtech. (2025). *IPC mechanisms: Shared memory vs. message queues benchmarking*.

7. Axboe, J. (2019). *Efficient IO with io_uring*. kernel.dk/io_uring.pdf.

DESIGN AND SIMULATION-BASED VALIDATION OF A DISTRIBUTED IOT EVENT LOGGING SUBSYSTEM IN COMPUTER INFRASTRUCTURES

Nazar Omeliukh
Lviv Polytechnic National University, Postgraduate student, nazar.omeliukh.asp.2025@lpnu.ua
Halyna Klym
Lviv Polytechnic National University, Doctor of Technical Sciences, Professor, halyna.i.klym@lpnu.ua
Taras Tkachuk
Lviv Polytechnic National University, Senior Lecturer, taras.i.tkachuk@lpnu.ua

This paper presents a formalized conceptual model of a distributed IoT event logging subsystem and validates its analytical estimates through discrete-event simulation. The subsystem is defined as a tuple over a weighted directed graph with a three-tier architecture integrating edge computing, hash-chain integrity, and Raft-based replication. Simulation confirms analytical estimates with deviation below 15%.

Keywords: IoT, event logging, distributed systems, edge computing, discrete-event simulation, hash chain, Raft consensus.

The rapid growth of IoT devices — projected to exceed 25 billion by 2030 [1] — generates massive event volumes in enterprise and mission-critical computer infrastructures. Traditional centralized logging architectures (SIEM platforms, dedicated log servers) fail to provide adequate scalability, fault tolerance, and low latency in geographically distributed IoT environments [2, 3]. An analysis of existing solutions (ELK Stack, Fluentd, blockchain-based logging) demonstrates that none simultaneously provides low latency (<50 ms), cryptographic integrity, and support for resource-constrained IoT nodes [4, 5]. The objective of this work is to develop a formalized conceptual model of a distributed IoT event logging subsystem and validate its characteristics through discrete-event simulation.

The computer infrastructure is represented as a weighted

directed graph $G = (V, E_c)$ with semantic decomposition $V = D \cup N \cup S$, where D denotes IoT devices, N — edge/fog nodes, and S — server components. Each communication channel carries a three-dimensional weight function $w(e_{ij}) = (b_{ij}, \tau_{ij}, p_{ij})$ representing bandwidth, latency, and packet loss probability. The logging subsystem is formally defined as a tuple:

$$LS = (G, E, F, P, I), \quad (1)$$

where E is the event stream; F = {COLLECT, FILTER, AGG, NORM, STORE} — processing operators; P — replication policy with Raft consensus [6]; I — integrity mechanisms based on hash chains and Merkle trees. An event is an ordered tuple $e = \langle id, t_l, t_g, src, type, payload, h \rangle$, where h is a SHA-256 cryptographic hash ensuring tamper evidence. The full processing pipeline is described as the composition STORE ∘ NORM ∘ AGG ∘ FILTER ∘ COLLECT.

The model implements a hierarchical architecture consisting of three layers. The *collection layer* (D) comprises IoT devices with local buffers of limited capacity β_d, performing event generation, local timestamping, and initial SHA-256 hashing via a hardware crypto-accelerator. The *edge processing layer* (N) aggregates, filters, and normalizes event streams from multiple devices, computes globally consistent timestamps, and maintains hash chains. The *storage layer* (S) provides long-term persistence with replication factor $r_f \geq k + 1$ and Raft consensus for strong linearizability [6].

Log immutability is guaranteed by hash chains, where each record's hash incorporates the previous hash:

$$h_i = H(payload_i \parallel h_{i-1}), \quad (2)$$

where H is SHA-256. Merkle trees provide audit complexity $O(\log m)$. Time consistency is achieved via NTP/PTP for server/edge nodes [7] and Lamport logical clocks for IoT devices [8]. Fault tolerance relies on replication $r_f \geq k + 1$ with Raft consensus [6].

Analytical estimates were verified using SimPy 4 DES [9]. Reference configuration: ESP32 (layer D, MQTT 5.0 QoS 1); Raspberry Pi 4 (layer N); 3-replica server cluster (layer S, Raft). Parameters: $|D| = 20$, $|N| = 4$, $|S| = 3$, $\lambda_d = 10$ ev/s, $N_{runs} = 50$, bootstrap CI 95%. A centralized architecture was simulated in parallel as baseline.

Table 1 — Comparison of analytical and simulation results

Metric	Analytical estimate	DES result
End-to-end latency	15–50 ms	39.0 [37.8; 40.3] ms
Latency reduction vs centralized	40–60%	45–66%
Delivery reliability ($\lambda \leq 20$ ev/s)	$\rightarrow 1.0$	1.0000
SHA-256 overhead	$< 0.5\%$	$< 1\%$
Raft availability ($r_2 = 3$)	99.9997%	100% delivery
Deviation analytical vs DES	—	$\leq 15\%$

The simulation results confirm all analytical estimates (Table 1). At operational loads ($\lambda \leq 20$ events/s), the three-tier architecture achieves median latency of 39.0 ms (within the 15–50 ms analytical range) with 45–66% reduction vs. the centralized scheme and 100% delivery reliability. Fault tolerance testing showed that a single Raft server failure preserves full availability (quorum 2/3), while the centralized system loses ∼33% of events. Under a 30-second WAN disruption, edge buffers ensure 100% reliability, whereas the centralized architecture loses ∼20% of events. Scalability analysis confirmed linear throughput growth up to 100 devices.

The proposed formal conceptual model $LS = (G, E, F, P, I)$ with a three-tier architecture achieves latency of 15–50 ms (40–60% lower than centralized schemes), 100% delivery reliability, cryptographic integrity with $< 1\%$ overhead, and Raft-based fault tolerance ($\approx$ 99.9997% availability). Simulation validates all estimates with deviation below 15%. The model is applicable for smart cities, industrial automation, and mission-critical IoT infrastructures.

References

1. IoT Analytics. (2024). *State of IoT — Spring 2024*. IoT Analytics GmbH.

2. Savytska, L., Korobeinikova, T., Volos, O., & Tarnovsky, M. (2023). Method and tool for security monitoring in computer networks using SIEM. *ITKI, 58*(3), 22–32.

3. Syrotynskyi, R., & Tyshyk, I. (2025). Specifics of building zero trust architecture in hybrid infrastructures. *Cybersecurity: Education, Science, Technology, 4*(28), 272–287.

4. Shekhtman, L., & Waisbard, E. (2021). EngraveChain: A blockchain-based tamper-proof distributed log system. *Future Internet, 13*(6), 143.

5. Kratzke, N. (2022). Cloud-native observability: The many-faceted benefits of structured and unified logging. *Future Internet, 14*(10), 274.

6. Ongaro, D., & Ousterhout, J. (2014). In search of an understandable consensus algorithm. In *Proc. USENIX Annual Technical Conference (ATC)* (pp. 305–319).

7. Mills, D., Martin, J., Burbank, J., & Kasch, W. (2010). *Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification* (RFC 5905). IETF.

8. Lamport, L. (1978). Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system. *Communications of the ACM, 21*(7), 558–565.

9. Team SimPy. (2023). *SimPy: Discrete-event simulation for Python* (v4.1.1). https://simpy.readthedocs.io/

THE IT PROJECT MANAGEMENT SYSTEM ASANA IN CASE OF DEVOPS TEAMS

Strelchuk Kyrylo
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Master's student, Kyrylo.Strelchuk@cs.khpi.edu.ua
Kozulia Mariia
PhD in Technical Sciences, Ass. Prof., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", mariia.kozulia@khpi.edu.ua

In the paper presented an integration module development that extends the Asana project management system functionality for DevOps teams. The solution integrates GitHub, Jenkins, and Prometheus using REST APIs and webhooks. It enables automated task creation, real-time updates, and improved workflow transparency. The results demonstrated increased efficiency and better coordination between development and operations teams.

Keywords: Asana environment, DevOps automation, software development.

In modern software development, efficient project management plays a crucial role in supporting continuous integration and continuous delivery (CI/CD) processes. DevOps practices emphasize automation, real-time monitoring, and close collaboration between development and operations teams [1]. However, traditional project management systems often lack the integration capabilities required to support such dynamic workflows.

Asana is a widely used project management platform known for its flexibility and user-friendly interface [2]. Despite its advantages, it does not natively provide deep integration with DevOps tools such as GitHub, Jenkins, and Prometheus. This limitation reduces its effectiveness in environments where real-time updates and automation are essential.

To solve the mentioned problem, this research proposes the development of an integration module designed to extend Asana's functionality for DevOps teams. The solution is based on a modular architecture that enables communication between Asana and external

systems using REST APIs and webhooks.

The integration module connects Asana with widely used DevOps tools such as GitHub, Jenkins, and Prometheus [3–5]. Each of them performing a specific function within the system (Table 1).

Table 1 – DevOps tools used in the integration module

Tool	Purpose	Role in Integration Module
GitHub	Version control	Triggers task creation from commits
Jenkins	CI/CD automation	Sends build and deployment events
Prometheus	Monitoring and alerting	Generates alerts and incident tasks

The use of these tools ensures continuous data flow, real-time monitoring, and automated task management within the Asana environment. To demonstrate the interaction of components during event processing, a UML sequence diagram was constructed (Fig. 1).

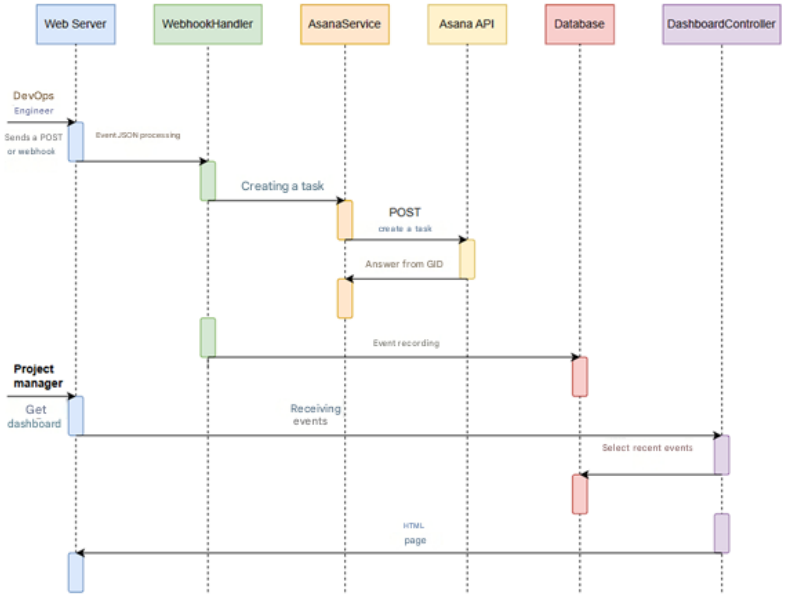


Figure 1. Sequence diagram

The system was implemented using Python and Flask-based web framework, with Docker used for containerization to ensure portability and scalability. DevOps event data, including build statuses, deployment results, and monitoring alerts, is processed and transformed into actionable tasks within Asana.

Experimental testing demonstrated stable system performance, reliable API communication, and minimal latency in processing events. The integration significantly improves workflow automation, reduces manual effort, and enhances communication between team members.

The results confirm that extending Asana with lightweight external components is an effective approach to bridging the gap between project management and DevOps automation that reduces the likelihood of human error and ensures faster response to critical events. An important advantage of the proposed approach is its flexibility and scalability. The modular architecture allows easy integration with additional DevOps tools without significant changes to the core system. This makes the solution adaptable to different project environments and team requirements. The system can be extended with additional features such as analytics dashboards, priority-based task management, and integration with other cloud services, which further increases its practical value.

References

1. Kim, G., Humble, J., Debois, P., & Willis, J. (2021). The DevOps Handbook. IT Revolution Press.

2. Asana. (2024). Asana Developer Documentation. https://developers.asana.com

3. GitHub. (2024). GitHub Actions Documentation. https://docs.github.com

4. Jenkins. (2024). Jenkins User Documentation. https://www.jenkins.io

5. Prometheus. (2024). Prometheus Monitoring System Documentation. https://prometheus.io

6. ISO/IEC. (2018). Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering (ISO/IEC 29148:2018).

Секція 2. Програмна інженерія та проєктний менеджмент

Section 2. Software Engineering and Project Management

LLM-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Бадьора Ярослав Михайлович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, y.badyora@gmail.com
Шумиляк Лілія Михайлівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, lshumylyak@gmail.com

LLM-ORIENTED APPROACH TO DESIGN DOCUMENTATION FOR AUTOMATED SOFTWARE DEVELOPMENT

Badora Yaroslav Mykhailovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student at the Department of Computer Systems Software, y.badyora@gmail.com
Shumyliak Liliia Mykhailivna
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ph.D., Associate Professor at the Department of Computer Systems Software, lshumylyak@gmail.com

The paper analyzed the problem of unsystematic use of large language models in software development. A method of LLM-oriented project documentation was proposed. The method used structured and interconnected artifacts to form a relevant context for automated software implementation.

Keywords: Large Language Models, project documentation, automated implementation, context management.

Великі мовні моделі (Large Language Models, LLM) давно використовуються у процесах розробки програмного

забезпечення, зокрема для генерації коду, написання тестів, пояснення логіки та документування [1]. Однак переваги, що вони дають, не завжди перетворювались на швидші строки розробки або вищу якість продукту.

Аналіз джерел та існуючих підходів до проектування з штучним інтелектом (ШІ) [2] показав, що фундаментом проблеми низької якості результатів є безсистемне використання LLM разом з відсутністю чіткого першоджерела правди. Хоча згенерований код може бути синтаксично коректним, він часто не відповідає тому, що очікується. Це є не лише наслідком специфіки роботи LLM, а й підкреслює відсутність методичного підходу до підготовки артефактів до роботи, зокрема архітектури, вимог, інтерфейсів, бізнес-правил і критеріїв приймання.

Було досліджено, що агенти ШІ здебільшого застосовуються для швидкої генерації окремих фрагментів коду, тестів або допоміжної документації. Хоча це значно економить час на розробку, підходи до цього процесу рідко мають якусь сталу форму, оскільки запит часто ґрунтується на одному промпті, а не на цілісній проєктній структурі. В [3] автори демонструють, що LLM не завжди правильно використовували інформацію в межах довгого контексту, а серед відкритих викликів залишались надійність, керованість і узгодженість виходу з реальними потребами.

Дослідження [4] показало, що очікування розробників щодо інструментів генерації коду могли не відповідати реальному досвіду. В свою ж чергу, дослідження [5] продемонструвало, що повнота і відстежуваність вимог позитивно вплинули на якість у запобіганні дефектам, що підтвердило важливість не лише наявності документації, а й зв'язків між її елементами.

З огляду на виявлені недоліки було запропоновано рішення, орієнтоване на LLM: воно переосмислює документацію, перекладаючи відповідальність за недоліки з агента генерації коду на механізми документації та її побудови. У цьому підході замість загального запиту до моделі забезпечується надання організованого контексту, сформованого цілком із проєктної інформації, що зменшує засмічення та гарантує передачу

релевантної інформації про завдання до генерації.

Знання зводяться в єдине джерело правди, що охоплює вимоги, архітектурні рішення, описи модулів та інтерфейсів, бізнес-правила, технічні обмеження та залежності між ними, а також очікуваний результат. Кожен артефакт описує дискретний аспект системи – модуль, контракт API, бізнес-правило чи сценарій тестування – і логічно та технічно пов'язаний з іншими артефактами. Документація в такому підході, є цілісним репозиторієм знань про програмний продукт. Для кожного завдання LLM отримує лише ту частину документації, яка є релевантною: складається мінімально достатній контекст, що унеможливлює як втрату інформації, так і захаращення нерелевантним «шумом» .

Документацію формалізовано як орієнтований граф:

$$G = (V, E),$$

де

V – артефакти є вершинами,

E – їхні зв'язки є ребрами.

Лише підграф, що стосується поточного завдання, надається LLM як контекст.

Робота з агентом ШІ повинна здійснюватись ітеративно: визначається завдання на впровадження; знаходиться базовий артефакт; формується гнучкий контекст – поведінка, дані та залежності, обмеження, правила обробки помилок, критерії приймання та тести; генеруються вихідні дані, після чого відбувається валідація результату. Якщо результат виявляється не задовільним, замість мануального виправлення результату, спочатку виправляється система артефактів, що використовувалась для постановки задачі, а потім повторяється ітерація.

Дослідження розглянуло наявне використання LLM, показавши, що вхідна інформації до завдання була основним вузьким місцем. Запропоновано підхід, де документація розглядається як основне джерело знань, представлене у вигляді графа взаємопов'язаних артефактів, що дозволяє надавати LLM

лише релевантні частини інформації, тим самим зменшуючи пропущений контекст і шум інформації.

Список використаних джерел

1. Hou, X., Zhao, Y., Liu, Y., Yang, Z., Wang, K., Li, L., Luo, X., Lo, D., Grundy, J., & Wang, H. (2024). Large Language Models for Software Engineering: A Systematic Literature Review. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 33(8), Article 220, 1–79. DOI: 10.1145/3695988

2. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., et al. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 9459–9474.

3. Liu, N. F., Lin, K., Hewitt, J., Paranjape, A., Bevilacqua, M., Petroni, F., & Liang, P. (2024). Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 12, 157–173.

https://doi.org/10.1162/tacl_a_00638.

4. Vaithilingam, P., Zhang, T., & Glassman, E. L. (2022). Expectation vs. Experience: Evaluating the Usability of Code Generation Tools Powered by Large Language Models. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts, Article 332, 1–7.

https://doi.org/10.1145/3491101.3519665.

5. Rempel, P., & Mäder, P. (2017). Preventing Defects: The Impact of Requirements Traceability Completeness on Software Quality. IEEE Transactions on Software Engineering, 43(8), 777–797. https://dl.acm.org/doi/10.1109/TSE.2016.2622264.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ КОНСОЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОБЛІКУ ЗАДАЧ МОВОЮ GO

Бобела Анастасія Сергіївна
Луцький національний технічний університет, студентка кафедри комп'ютерних наук, nastia.bobela@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua
Герасимюк Леся Сидорівна
Академія рекреаційних технологій і права, старший викладач кафедри документознавства та інформаційної діяльності, lesya.ukr04@gmail.com

JUSTIFICATION AND IMPLEMENTATION OF A CONSOLE TASK MANAGEMENT APPLICATION USING GO

Bobela Anastasiia
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, nastia.bobela@gmail.com
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua
Herasyuk Lesya
Academy of Recreational Technologies and Law, Senior Lecturer, Department of Documentation and Information Studies, lesya.ukr04@gmail.com

The paper describes the development of a console-based task management application implemented in the Go programming language. The architecture of the application, interaction with SQLite database, implementation of REST API, and testing approaches are considered. The proposed solution demonstrates modularity, scalability, and practical applicability for task management systems.

Keywords: Go, CLI application, task manager, REST API, SQLite, software architecture.

Сучасні інформаційні системи управління задачами є

важливим інструментом організації робочого процесу як у професійній діяльності, так і в повсякденному житті. Популярність подібних систем пояснюється необхідністю швидкого доступу до інформації, контролю виконання завдань та автоматизації процесів планування. Незважаючи на широке розповсюдження вебзастосунків і мобільних платформ, консольні застосунки залишаються актуальними завдяки високій швидкодії, мінімальному споживанню ресурсів та можливості інтеграції з іншими інструментами автоматизації.

Метою роботи є розробка консольного застосунку для обліку задач мовою програмування Go із підтримкою збереження даних та HTTP API. Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз сучасних систем управління задачами, обрано архітектурний підхід до побудови застосунку, реалізовано механізми роботи з базою даних та створено API для взаємодії із системою [1].

Під час реалізації проєкту було використано мову програмування Go, яка характеризується високою продуктивністю, простим синтаксисом та ефективною роботою з конкурентними процесами. Однією з ключових переваг Go є компіляція застосунку у єдиний виконуваний файл, що значно спрощує розгортання програмного забезпечення [2].

Архітектура застосунку побудована за модульним принципом із розділенням на окремі компоненти: CLI-інтерфейс, бізнес-логіку, HTTP API та шар роботи з даними. Такий підхід забезпечує зручність підтримки проєкту, повторне використання програмного коду та можливість подальшого масштабування системи.

Для збереження інформації про задачі використано SQLite. Вибір даної системи управління базами даних обумовлений її автономністю, простотою інтеграції та відсутністю необхідності встановлення окремого серверного програмного забезпечення. Структура таблиць містить поля для назви задачі, статусу виконання, дати створення та дедлайну [3].

У межах роботи реалізовано основний функціонал системи: створення задач, перегляд списку задач, редагування, видалення

та зміну статусу виконання. Для взаємодії з користувачем через мережу було створено REST API із використанням стандартного пакету net/http. Передача даних між клієнтом та сервером здійснюється у форматі JSON.

Тестування HTTP API виконувалось за допомогою Postman та PowerShell-запитів. Під час тестування перевірялась коректність обробки HTTP-запитів, взаємодія із базою даних, обробка помилок та стабільність роботи застосунку. Також було проведено аналіз продуктивності системи під час роботи з великою кількістю записів [4].

У процесі розробки використовувалось інтегроване середовище розробки GoLand та система контролю версій Git. Це дозволило організувати процес розробки, контролювати зміни програмного коду та забезпечити резервне збереження проєкту.

Отримані результати демонструють доцільність використання мови Go для створення консольних систем управління задачами. Розроблений застосунок може бути використаний як основа для подальшого створення вебверсії, мобільного клієнта або розширення функціоналу системи управління задачами.

Список використаних джерел

1. Документація мови Go. URL: https://go.dev/ (дата звернення: 27.04.2026).

2. Donovan A., Kernighan B. The Go Programming Language. Boston : Addison-Wesley Professional, 2015. 400 p.

3. SQLite Documentation. URL: https://www.sqlite.org/docs.html (дата звернення: 04.05.2026).

4. Fielding R. T. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures* : Doctoral dissertation. Irvine : University of California, 2000. URL: https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm (дата звернення: 12.05.2026).

РОЗРОБКА КРОСПЛАТФОРМНОГО ЗАСТОСУНКУ ЗАСОБАМИ .NET MAUI ТА BLAZOR HYBRID

Гаврилюк Денис Ігорович
Луцький національний технічний університет, здобувач (першого) бакалаврського рівня вищої освіти, ОП Інженерія програмного забезпечення, havrylyuk.d1309.121.24@lntu.edu.ua
Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, yuliapovstyana@ukr.net

CROSS-PLATFORM APPLICATION DEVELOPMENT WITH .NET MAUI AND BLAZOR HYBRID

Havryliuk Denys
Lutsk National Technical University, applicant for (first) bachelor's degree in higher education, major in Software Engineering havrylyuk.d1309.121.24@lntu.edu.ua
Povstiana Yuliia
Lutsk National Technical University, Associate professor at the Department of Software Engineering, yuliapovstyana@ukr.net

Cross-platform fragmentation forces teams to maintain separate codebases per platform, increasing costs and inconsistent user experience. This paper investigates .NET MAUI combined with Blazor Hybrid as a solution to code duplication, UI consistency, and web scalability. A comparative analysis of Flutter, React Native, and Xamarin.Forms justified the framework selection. A note-taking app was implemented in C# / .NET 8 on Windows and Android from a single codebase. Single Project Architecture reduced duplicated code twofold, while Blazor Hybrid eliminated UI logic rewriting when scaling to a web-oriented system.

Keywords: .NET MAUI, Blazor Hybrid, C#, MVVM, cross-platform development

Однією з ключових проблем сучасної мобільної розробки є необхідність підтримки кількох платформ із мінімізацією

дублювання коду та водночас забезпечення однакового користувацького досвіду. Підхід, який базується на розробці кількох окремих рішень для кожної ОС, суттєво збільшує витрати часу та ресурсів, ускладнює підтримку UI між платформами та унеможливлює масштабування до вебверсії без повторного написання логіки інтерфейсу. Проблема фрагментації кросплатформної розробки спонукає програмістів до пошуку єдиних архітектурних рішень. Однією з таких альтернатив виступає .NET MAUI (Multi-platform App UI) – кросплатформний фреймворк від Microsoft, повністю інтегрований у .NET 8 [1]. У межах курсової роботи розроблено застосунок для керування нотатками та нагадуваннями, розгорнутий на Windows та Android з єдиною кодовою базою, написаною мовою програмування C#.

У ході розробки проведено порівняльний аналіз основних кросплатформних фреймворків. Flutter забезпечує продуктивний рендеринг через власний графічний рушій, проте вимагає знання мови Dart та не сумісний з екосистемою .NET [5]. React Native дозволяє використовувати JavaScript/TypeScript і має широку спільноту розробників, але пропонує обмежений доступ до нативних API та потребує JavaScript Bridge для взаємодії з платформою, що може спричинити затримки у продуктивност [6]і. Xamarin.Forms – попередник .NET MAUI – вимагав окремих проєктів для кожної з платформ та не підтримує .NET 8. Вибір .NET MAUI обґрунтовано повною підтримкою .NET 8, використанням C# як основної мови, підтримкою Single Project Architecture та наявністю вбудованого механізму Dependency Injection.

.NET MAUI реалізує принцип Single Project Architecture: весь код, ресурси та налаштування системи зосереджені в єдиному .csproj-файлі, а логіка, специфічна для кожної з платформ, винесена в окремі папки. Рендеринг інтерфейсу здійснюється через нативні контроли кожної платформи: android.widget.Button на Android, WinUI на Windows. Застосунок побудований за патерном MVVM (Model-View-ViewModel), що забезпечує чітке розділення графічного інтерфейсу та бізнес-логіки, полегшуючи тестування та підтримку коду. Для реалізації

цієї архітектури використано бібліотеку CommunityToolkit.Mvvm, яка надає готові інструменти для роботи з командами та сповіщеннями [3]. Дані зберігаються за допомогою локальної бази SQLite у поєднанні з ORM-бібліотекою sqlite-net-pcl. Сервіси для роботи з даними реєструються через вбудований механізм Dependency Injection (DI), що дозволяє легко змінювати джерело даних або додавати нову функціональність без переписування основних компонентів інтерфейсу [4].

У ході дослідження розроблено та протестовано функції створення, редагування й видалення нотаток і нагадувань із встановленням часу та дати. Навігація побудована на Shell: на Windows – бічна панель (FlyoutBehavior), на Android – нижня таб-навігація (TabBar). Адаптивність інтерфейсу досягається без написання платформно-специфічної розмітки. Застосунок протестовано на Windows 10/11 та Android 13 – усі функції працюють коректно на кожній із платформ. Аналіз архітектурного підходу показав, що використання єдиної кодової бази скорочує обсяг дублюючого коду приблизно вдвічі порівняно з підходом окремих проєктів для кожної з платформ. Дослідження повторного використання компонентів інтерфейсу між мобільною та вебверсією застосунку засобами Razor Class Library підтверджує практичну ефективність підходу Blazor Hybrid.

Проте класичний підхід .NET MAUI не забезпечує прямого повторного використання вебкомпонентів Razor без інтеграції Blazor Hybrid. Порівняно з класичним підходом .NET MAUI, де інтерфейс повністю описується через XAML-розмітку, Blazor Hybrid дозволяє замінити або доповнити XAML-компоненти Razor-компонентами, що усуває необхідність дублювання UI-логіки при переході до вебверсії, інтегруючи вебтехнології безпосередньо в нативні застосунки через компонент BlazorWebView [2]. Це створює гібридне середовище, де нативний контейнер забезпечує доступ до API пристрою, а інтерфейс будується на базі HTML/CSS. Головною перевагою є використання спільної бібліотеки Razor Class Library (RCL), компоненти якої одночасно працюють і в мобільній версії, і в повноцінному вебзастосунку на Blazor WebAssembly.

Використання RCL дозволило повторно використати UI-компоненти як у мобільному застосунку, так і у вебверсії без жодних змін у коді компонентів.

У ході дослідження підтверджено ефективність фреймворку .NET MAUI для розробки кросплатформних систем із єдиною кодовою базою. Порівняльний аналіз із Flutter, React Native та Xamarin.Forms обґрунтував вибір .NET MAUI як найкращого варіанту в контексті .NET-екосистеми. Використання MVVM-архітектури та Shell-навігації забезпечило якісний користувацький досвід на всіх платформах. Подальший розвиток проєкту полягає в інтеграції Blazor Hybrid: використання спільної бібліотеки класів Razor (RCL) дозволить масштабувати застосунок до повноцінної веборієнтованої системи.

Список використаних джерел

1. Microsoft. .NET MAUI Documentation. Офіційна документація фреймворку, опис Single Project Architecture та нативного рендерингу. 2026. URL: https://learn.microsoft.com/dotnet/maui

2. Microsoft. Blazor Hybrid integration guide. Посібник з інтеграції Razor-компонентів у нативні контейнери. 2026. URL: https://learn.microsoft.com/aspnet/core/blazor/hybrid

3. Microsoft. CommunityToolkit.Mvvm Documentation. Технічний опис інструментарію для реалізації патерну MVVM. 2026. URL: https://learn.microsoft.com/dotnet/communitytoolkit/mvvm

4. Praeclarum. sqlite-net-pcl: SQLite ORM for .NET. Бібліотека ORM для роботи з локальними базами SQLite у .NET. 2026. URL: https://github.com/praeclarum/sqlite-net

5. Singh M. Flutter vs .NET MAUI. Medium. 2023. URL: https://medium.com/@malwindersingh/flutter-vs-net-maui

6. Sparkle Web. 6 Reasons .NET MAUI Beats React Native for Modern Apps. Medium. 2025. URL: https://medium.com/@sparkleweb/net-maui-beats-react-native

ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РІВНІВ У КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ

Геока Євгеній Ілліч
Національний аерокосмічний університет, студент спеціальності інженерія програмного забезпечення, y.i.heoka@student.khai.edu
Соколова Євгенія Віталіївна
Національний аерокосмічний університет, канд. техн. н., доц., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, y.sokolova@khai.edu

USING PROCEDURAL GENERATION FOR LEVEL GENERATION IN COMPUTER GAMES

Heoka Yevhenii
National Aerospace University, student of Software Engineering, y.i.heoka@student.khai.edu
Sokolova Yevheniia
National Aerospace University, Ph.D. in Information Technologies, Associate Professor at the Department of Software Engineering and Business, y.sokolova@khai.edu

The paper analyses the role of procedural generation in game level creation and some of the ways it is used for ensuring replayability. The analysis is made in the context that procedural generation is a great low-budget and cost-effective method used by many indie game developers in reality, where the indie game segment demonstrates significant revenue growth compared to the AAA segment despite substantially higher production costs.

Keywords: procedural generation, procgen, level creation, indie gamedev.

Із розвитком інформаційних технологій розробка комп'ютерних ігор стає дедалі доступнішою для широкого кола ентузіастів. Останніми роками в ігровій індустрії помітно зростає інтерес до інді-проєктів, що значною мірою пов'язано з нижчою вартістю розробки, свободою творчих рішень та використанням сучасних підходів до генерації контенту. Незалежні розробники

та невеликі інді-студії створюють малобюджетні ігри, багато з яких здобувають популярність і комерційний успіх [1].

Згідно зі статистикою платформи Steam за 2024 рік (рис. 1), кількість випущених інді-ігор і проданих копій у цьому сегменті перевищує показники ААА-проєктів. Хоча сукупний дохід великих студій все ще залишається вищим, інді-сегмент демонструє стабільне зростання та посилення своєї ролі в сучасній ігровій індустрії.

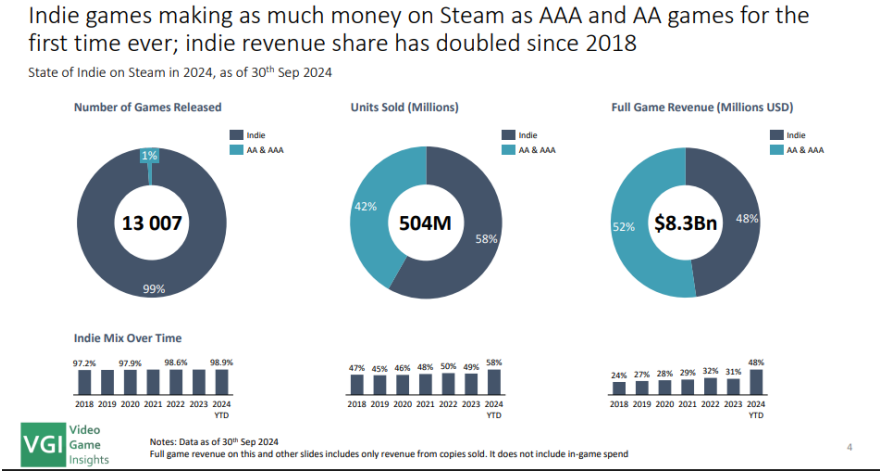


Рисунок 1. Порівняння ААА та Indie сегментів у Steam [2]

Однією з важливих характеристик сучасних ігор є реіграбельність – здатність підтримувати інтерес гравця до повторного проходження завдяки варіативності рівнів, стилів гри, проходження, розвитку персонажа та інших елементів ігрового процесу. Для підвищення реіграбельності в багатьох інді-проєктах застосовується процедурна генерація контенту – використання алгоритмів для автоматизованого створення рівнів, об'єктів або інших елементів гри, що забезпечує унікальність кожного нового проходження.

Підходи до процедурної генерації рівнів у відеоіграх є різноманітними та визначаються жанровими особливостями й вимогами конкретного проєкту. Зокрема, у статті [3] описано використання шуму Перліна, а у статті [4] – клітинних автоматів.

Додатково у статті [5] описано інші техніки процедурної

генерації, що використовуються у відомих іграх, зокрема застосування шумових функцій для визначення розташування біомів та загальної структури світу Minecraft.

Водночас надмірна випадковість процедурної генерації може негативно впливати на баланс ігрового процесу та якість дизайну рівнів. Тому сучасні підходи часто поєднують алгоритмічну генерацію з попередньо підготовленими елементами, що дозволяє зберігати баланс між варіативністю та контрольованістю контенту.

Процедурна генерація широко застосовується в жанрі roguelike [4, 5], оскільки вона суттєво впливає на реіграбельність. У класичній грі Rogue, яка фактично започаткувала цей жанр, рівні формувалися автоматично – шляхом генерації кімнат і коридорів між ними [5].

Окремий підхід становить гібридна генерація, що поєднує заздалегідь підготовлені модульні елементи з алгоритмічною компоновкою ігрового простору. У цьому випадку розроблені заздалегідь кімнати або секції комбінуються відповідно до заданих правил, що забезпечують варіативність структури локацій. Подібний підхід реалізовано, зокрема, у грі *The Binding of Isaac: Rebirth* [6].

Типи представлення процедурно згенерованих рівнів не обмежуються класичними лабіринтами або набором кімнат. Наприклад, у *FTL: Faster Than Light* ігровий простір моделюється як графова структура з вузлами та переходами між ними. В інших жанрах, таких як *shmup* і *bullet hell*, рівень може бути представлений як послідовність хвиль противників із визначеними поведінковими патернами. Подібні підходи також застосовуються у платформерах і головоломках.

З урахуванням зростання інді-сегменту ігрової індустрії (рис. 1) та загальних прогнозів розвитку ринку (рис. 2), процедурна генерація залишатиметься одним із ключових інструментів підвищення реіграбельності ігор у найближчі роки.

Рисунок 2. Динаміка і прогнози зростання ігрової індустрії [7]

Список використаних джерел

1. Glanze Patrick. Indie vs AAA in 2025: Why Smaller Studios Are Winning and Changing the Future of Gaming. URL: https://www.techtimes.com/articles/313053/20251129/indie-vs-aaa-2025-why-smaller-studios-are-winning-changing-future-gaming.htm.

2. Video Game Insights. Global Indie Games Market Report 2024. URL: https://app.sensortower.com/vgi/assets/reports/VGI_Global_Indie_Games_Market_Report_2024.pdf .

3. Іляш Ю.Ю., Горєлов В.О., Ровінський В.А. Алгоритми та методи процедурної генерації та адаптивної складності рівнів в іграх-платформерах. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. № 4. С. 107–116. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.3.12 .

4. Іляш Ю.Ю., Горєлов В.О., Ровінський В.А. Алгоритми клітинних автоматів для генерації рівнів у комп'ютерних іграх. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2026. Серія: Технічні науки, 37(2). С. 108-113. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.2.1/16 .

5. Alan Zucconi. The World Generation of Minecraft. URL: https://www.alanzucconi.com/2022/06/05/minecraft-world-generation/ .

6. Adam Newgas. Dungeon Generation in Binding of Isaac. URL: https://www.boristhebrave.com/2020/09/12/dungeon-generation-in-binding-of-isaac/ .

7. DataIntelo. Game Developer Market. URL: https://dataintelo.com/report/global-game-developer-market .

МОДУЛЬНИЙ МОНОЛІТ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА КЛАСИЧНИМ ПІДХОДАМ У ПРОЄКТУВАННІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ

Горшков Володимир Володимирович
Mint Innovations (м. Луцьк), Team Lead (Software Engineering), vladslid@gmail.com

MODULAR MONOLITH AS AN ALTERNATIVE TO CLASSICAL APPROACHES IN DESIGNING MODERN SYSTEMS

Volodymyr Horshkov
Mint Innovations (Lutsk, Ukraine), Team Lead (Software Engineering), vladslid@gmail.com

The paper analyzes modular monolith architecture as a contemporary alternative to traditional monolith and microservices approaches. Recent 2025-2026 industry trends, including consolidation of microservices back to monolithic deployments and the rise of AI development tools, justify renewed interest in this pattern. The modular monolith offers a balanced compromise for most mid-size teams during startup and stabilization phases.

Keywords: modular monolith, software architecture, microservices, AI-assisted development, system design

Сучасний етап розвитку програмної інженерії характеризується активним переосмисленням архітектурних підходів, які впродовж останнього десятиліття вважалися стандартом для побудови високонавантажених та масштабованих систем. Якщо у період 2015-2022 років мікросервісна архітектура фактично стала домінуючим підходом до проєктування корпоративного програмного забезпечення [3], то у 2024-2026 роках галузь демонструє тенденцію до часткового повернення до більш простих і контрольованих систем. Одним із таких підходів є модульний моноліт, який сьогодні розглядається як компроміс між простотою класичного моноліту та гнучкістю мікросервісної архітектури.

Модульний моноліт являє собою архітектурний шаблон, у межах якого застосунок розгортається як єдина виконувана одиниця, проте внутрішньо поділяється на ізольовані модулі з чітко визначеними межами відповідальності. Кожен модуль інкапсулює власну бізнес-логіку, моделі даних та механізми взаємодії, що дозволяє мінімізувати зв'язність між частинами системи. На відміну від традиційного моноліту типу Big Ball of Mud, де залежності між компонентами поступово стають неконтрольованими, модульний моноліт орієнтується на принципи Domain-Driven Design, bounded contexts та явні контракти взаємодії [1]. Завдяки цьому архітектура зберігає високу керованість навіть при поступовому зростанні системи.

Однією з ключових переваг модульного моноліту є поєднання відносної простоти експлуатації із можливістю подальшої еволюції архітектури. На відміну від мікросервісної моделі, де система від самого початку складається з розподілених компонентів, модульний моноліт не вимагає складної мережевої взаємодії, окремих пайплайнів розгортання, розподіленого трасування чи підтримки великої кількості інфраструктурних сервісів. Це суттєво знижує вимоги до DevOps-процесів та дозволяє невеликим і середнім командам зосередитися насамперед на бізнес-логіці продукту. Водночас за потреби окремі модулі можуть бути поступово виокремлені в самостійні сервіси із використанням підходу Strangler Fig, що забезпечує плавну міграцію до розподіленої архітектури без повного перепроєктування системи.

Поштовхом до перегляду ролі мікросервісної архітектури стали як економічні, так і технічні фактори. Значного резонансу в індустрії набув технічний звіт команди Amazon Prime Video, у якому було описано скорочення інфраструктурних витрат приблизно на 90% після переходу від розподіленої serverless-архітектури до монолітного підходу в одному з сервісів моніторингу потокового відео [2]. Цей кейс продемонстрував, що переваги мікросервісів не є універсальними та значною мірою залежать від масштабу системи, навантаження та зрілості інженерної організації. Практика останніх років також показує,

що складність розподілених систем часто перевищує реальні потреби продукту [4]. Підтримка міжсервісної комунікації, забезпечення консистентності даних, моніторинг мережевих взаємодій та локалізація помилок суттєво збільшують експлуатаційні витрати і сповільнюють розробку.

Окремої уваги заслуговує вплив сучасних AI-асистентів розробки на архітектурні рішення. У 2025-2026 роках інструменти на зразок GitHub Copilot, Cursor та Claude Code стали невід'ємною частиною процесу розробки програмного забезпечення. Ефективність таких систем значною мірою залежить від можливості формувати цілісне уявлення про структуру застосунку та взаємозв'язки між його компонентами. У випадку мікросервісної архітектури бізнес-логіка часто розподілена між великою кількістю репозиторіїв, сервісів і контрактів взаємодії, що ускладнює аналіз системи AI-агентами. Натомість модульний моноліт забезпечує єдину кодову базу з прогнозованою структурою, що значно полегшує автоматизований аналіз, рефакторинг та генерацію коду. Таким чином, розвиток AI-assisted development став додатковим аргументом на користь більш цілісних архітектурних моделей.

Практична ефективність модульного моноліту підтверджується результатами реалізації програмного комплексу для управління зарядними станціями електромобілів, побудованого на основі стеку .NET із використанням ASP.NET Core, Microsoft SQL Server, RabbitMQ та протоколу OCPP поверх WebSocket. Архітектура системи була організована у вигляді модульного моноліту з поділом на незалежні bounded contexts, що дозволило забезпечити масштабованість, високу доступність та спрощення супроводу системи. Під час експериментального тестування було отримано середній час відгуку на рівні 4-6 мс при 50 паралельних сесіях, а час відновлення після моделювання відмов окремих компонентів не перевищував 15 секунд. Отримані результати демонструють, що модульний моноліт може ефективно застосовуватись навіть у системах із високими вимогами до надійності та безперервності роботи.

Таким чином, вибір архітектури сучасного програмного

забезпечення слід розглядати не як ідеологічне рішення, а як результат аналізу вимог конкретного продукту, структури команди та очікуваного масштабу системи. Модульний моноліт виступає обґрунтованим компромісом між класичним монолітом і мікросервісною архітектурою, особливо для команд середнього розміру та продуктів, що перебувають на етапі активного розвитку або стабілізації. Сучасні тенденції індустрії та розвиток AI-інструментів додатково посилюють актуальність цього підходу. Перспективи подальших досліджень полягають у формалізації критеріїв переходу між архітектурними стилями та аналізі впливу розробки на еволюцію програмних систем.

Список використаних джерел

1. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. 612 p.

2. Gancarz R. Prime Video Switched from Serverless to EC2 and ECS to Save Costs. InfoQ. 2023. URL: https://www.infoq.com/news/2023/05/prime-ec2-ecs-saves-costs/ (дата звернення: 08.05.2026).

3. Lewis J., Fowler M. Microservices: a definition of this new architectural term. martinfowler.com. URL: https://martinfowler.com/articles/microservices.html (дата звернення: 08.05.2026).

4. Microservices vs Monoliths in 2026: When Each Architecture Wins. Java Code Geeks. 2025. URL: https://www.javacodegeeks.com/2025/12/microservices-vs-monoliths-in-2026-when-each-architecture-wins.html (дата звернення: 08.05.2026).

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЕКОСИСТЕМИ ПРОДАЖУ АВТОМОБІЛЬНИХ АКСЕСУАРІВ ВІД ВЛАСНИКІВ

Гунько Ігор Андрійович
Національний університет «Запорізька політехніка», студент групи КНТ-115м
Льовкін Валерій Миколайович
Національний університет «Запорізька політехніка», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів, vliovkin@gmail.com

DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO SUPPORT THE ECOSYSTEM OF SELLING CAR ACCESSORIES BY OWNERS

Hunko Ihor
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, student
Lovkin Valerii
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, vliovkin@gmail.com

The paper presents special approach for selling car accessories when car owners communicate with each other and share own experience in an application. Appropriate webapplication was developed to support this concept.

Keywords: car accessories, webapplication, webframework.

Придбання автомобільних аксесуарів зачіпає фактично кожного автовласника на певному етапі обслуговування автомобіля. Продаж таких аксесуарів самими власниками є потенційним рішенням для багатьох покупців. Це підвищує довіру, сприяє зниженню вартістю. З іншого боку для підвищення довіри необхідно забезпечити отримання додаткової інформації про досвід використання цих аксесуарів. Ця інформація при цьому сприяє не тільки довірі, але і вибору на користь тих чи інших аксесуарів покупцями.

У роботі виконано розробку програмного забезпечення, яке

враховуючи описану логіку, повинно підтримувати цілу екосистему продажу автомобільних аксесуарів. Для цього серед функцій програми забезпечено визначення не тільки інформації про сам аксесуар для автомобіля, але і історій застосування аксесуару власниками.

Для реалізації програмного забезпечення використано ідею створення вебзастосунку з використанням мови Python, фреймворку Django [1]. Враховуючи останнє, для роботи з даними застосовувались моделі, які були визначені у відповідності з результатами аналізу предметної області. Безпосередньо історії застосування аксесуарів для автомобілів визначаються ідентифікатором, назвою, текстом, часом публікації, типом, фотографіями. Серед типів історій визначено зокрема звичайне щоденне застосування, досвід подорожі, організацію свята. Таким чином користувачі можуть фактично визначати свої життєві історії, в яких знадобились ці аксесуари.

Функціональні можливості розробленої програми включають підтримку самих замовлень з придбання автомобільних аксесуарів від власників, в тому числі стосовно звернень про ті проблеми, які виникли між продавцями та покупцями, ведення переписки на основі приватних повідомлень стосовно продажу аксесуарів, створення відгуків про самих продавців та покупців для накопичення такого досвіду всередині самої програми.

Дана концепція дозволяє використовувати створену програму для забезпечення екосистеми взаємодії між власниками автомобільних аксесуарів, які є продавцями, та власниками автомобілів, які грають роль покупців, але в той же час можуть бути навпаки продавцями своїх аксесуарів, а продавці – покупцями.

Список використаних джерел

1. Django introduction – Learn web development. MDN. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/Django/Introduction (дата звернення: 13.05.2026).

ВИПРОБУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ – ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАРІННЯ

Добровольський Юрій Георгійович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, y.dobrovolsky@chnu.edu.ua
Мусатов Андрій Владиславович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, musatov.andrii@chnu.edu.ua

SOFTWARE DURABILITY TESTING – PREDICTIVE AGING MODELING

Yuriy Dobrovolsky
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Associate Professor at the Department of Computer Systems Software, y.dobrovolsky@chnu.edu.ua
Andrii Musatov
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student at the Department of Computer Systems Software, musatov.andrii@chnu.edu.ua

The paper analyses modern methodologies for software durability testing, focusing on the transition from empirical observation to analytical modeling. It is established that software aging is a manageable parameter, and the study aims to find optimal rejuvenation intervals to maximize system availability. The proposed integration of endurance tests and accelerated aging models provides comprehensive coverage of potential failure points in cloud and AI-driven environments.

Keywords: software aging, durability testing, software rejuvenation, predictive modeling.

Аналіз сучасних методологій випробування програмного забезпечення на довговічність демонструє перехід від суто емпіричного спостереження до глибокої аналітичної та прогнозної дисципліни. Старіння ПЗ більше не розглядається як неминуче зло, а сприймається як керований параметр системи [1].

Метою дослідження є пошук оптимального інтервалу омолодження, який максимізує доступність системи та мінімізує сумарні витрати на обслуговування [2].

1. **Інтеграція підходів:** Найбільш ефективною стратегією є поєднання тривалих endurance-тестів для верифікації фактичної стабільності та прискорених моделей старіння для стратегічного планування ресурсів. Це забезпечує повне охоплення як відомих дефектів, так і потенційних точок відмови в майбутньому [3].

2. **Роль автоматизації та AI:** У 2026 році ручне проведення та аналіз тестів на довговічність стає неможливим через складність систем. Використання AI для моніторингу та проактивного омолодження стає стандартом для високонавантажених сервісів.

3. **Еволюція архітектур:** Перехід до хмарних інфраструктур вимагає від розробників проектувати системи з урахуванням потреби в періодичному омолодженні. Архітектури, що підтримують безшовний перезапуск компонентів без втрати стану (stateless), є найбільш стійкими до старіння.

4. **Нові горизонти:** Дослідження старіння AI-генерованого коду та квантових обчислювальних середовищ відкривають нову главу в інженерії надійності, де методи математичного моделювання старіння будуть відігравати ключову роль.

Таким чином, забезпечення довговічності програмного забезпечення є комплексною інженерною задачею, що вимагає синергії між тестуванням, математичною статистикою та системним адмініструванням. Тільки через глибоке розуміння механізмів деградації та впровадження проактивних стратегій

управління станом системи можливо досягти високого рівня надійності, необхідного для функціонування сучасної глобальної цифрової інфраструктури.

Також, є важливим кроком врахування сучасних потреб бізнесу і реальних парадигм розробки. Сучасне ПЗ розробляється з активною участю AI, що призводить до нових викликів у сфері надійності ПЗ. Загальне збільшення розроблених систем за рахунок генерації коду, що призводить до меншого контролю якості через традиційні (рев'ю коду та пошук логічних помилок через аналіз коду) мери.

Список використаних джерел

1. QASource. (2026). A complete guide to endurance testing. URL: https://blog.qasource.com/a-complete-guide-to-endurance-testing (дата звернення 04.05.2026р.).

2. ACM Journal. (2026). Is software aging related to software metrics? URL: https://scispace.com/pdf/is-software-aging-related-to-software-metrics-45665361s7.pdf (дата звернення 04.05.2026р.).

3. IBM Research. (2026). Software rejuvenation via a multi-agent approach. URL: https://research.ibm.com/publications/software-rejuvenation-via-a-multi-agent-approach (дата звернення 04.05.2026р.).

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ ПІДХОДІВ ДО АВТОРИЗАЦІЇ У ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМАХ

Долід Олександр Олександрович
Луцький національний технічний університет, магістр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
dolid.sasha@gmail.com

ANALYSIS OF ARCHITECTURAL APPROACHES TO AUTHORIZATION IN HIGH-LOAD SOFTWARE SYSTEMS

Dolid Oleksandr Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, master's,
Department of Software Engineering, dolid.sasha@gmail.com

The paper analyses authorization mechanisms in high-load distributed systems. Microservice architectures introduce scalability challenges due to frequent access control checks. Limitations of centralized authorization are identified. A distributed approach with embedded mechanisms, caching, and in-memory storage is considered. The proposed combination improves performance, reduces latency, and ensures scalability of authorization processes.

Keywords: authorization, high-load systems, access control, RBAC, ABAC, PBAC, software architecture, microservices, scalability, performance.

Одним із ключових компонентів будь-якої інформаційної системи є механізм авторизації, який визначає права доступу користувачів до ресурсів і сутностей системи.

Значний внесок у розвиток управління доступом зробили дослідження щодо Role-Based Access Control (RBAC) [1], Attribute-Based Access Control (ABAC) [2] та Policy-Based Access Control (PBAC) [3]. RBAC базується на ролях і є простою у реалізації, проте недостатньо гнучкою у складних розподілених системах. ABAC забезпечує більшу гнучкість за рахунок використання атрибутів користувача, ресурсу та контексту, але є складнішою в обробці. PBAC передбачає використання

декларативних політик доступу, що дозволяє гнучко описувати умови виконання операцій над ресурсами.

Високонавантажені програмні системи характеризуються здатністю обробляти значні обсяги запитів користувачів і даних у режимі реального часу. Основними характеристиками таких систем є висока пропускна здатність, низька затримка обробки запитів та можливість горизонтального та вертикального масштабування [4].

У сучасній практиці розробки програмного забезпечення значного поширення набули розподілені архітектури, зокрема мікросервісні системи [5]. У таких системах програмне забезпечення складається з набору незалежних сервісів, кожен із яких виконує окрему функціональну роль і може масштабуватися незалежно від інших компонентів.

Однак використання мікросервісної архітектури створює додаткові виклики у сфері реалізації механізмів авторизації. Кожен мікросервіс повинен мати можливість перевіряти права доступу користувача до певних ресурсів, що може призводити до значної кількості запитів до системи контролю доступу.

Одним із підходів до реалізації механізмів авторизації є використання централізованого сервісу авторизації. У цьому випадку всі перевірки доступу виконуються через окремий сервіс, який відповідає за обробку політик доступу. Такий підхід спрощує управління політиками, проте може формувати критичні точки навантаження у високонавантажених системах [6].

Іншим підходом є використання розподіленої авторизації, при якій механізм перевірки доступу інтегрується (вбудовується) безпосередньо у програмні сервіси на прикладному рівні. У цьому випадку політики доступу можуть зберігатися локально як в оперативній пам’яті, так і у локальній файловій системі або завантажуватися з централізованого сховища.

Для підвищення продуктивності систем авторизації також широко застосовуються механізми кешування [7]. Кешування результатів перевірки доступу дозволяє значно зменшити кількість звернень до сервісу авторизації та скоротити затримки під час обробки запитів.

Ще одним перспективним підходом є використання баз даних у пам’яті, таких як Redis [8], для повноцінного зберігання політик доступу, а не тільки з метою кешування результатів перевірки авторизації. Завдяки високій швидкості доступу до даних у пам’яті такі системи дозволяють значно зменшити час обробки запитів.

Поєднання інтегрованих механізмів авторизації, кешування результатів перевірки політик і використання швидких сховищ даних дозволяє створювати масштабовані системи авторизації, які ефективно працюють навіть у високонавантажених середовищах (рис.1).

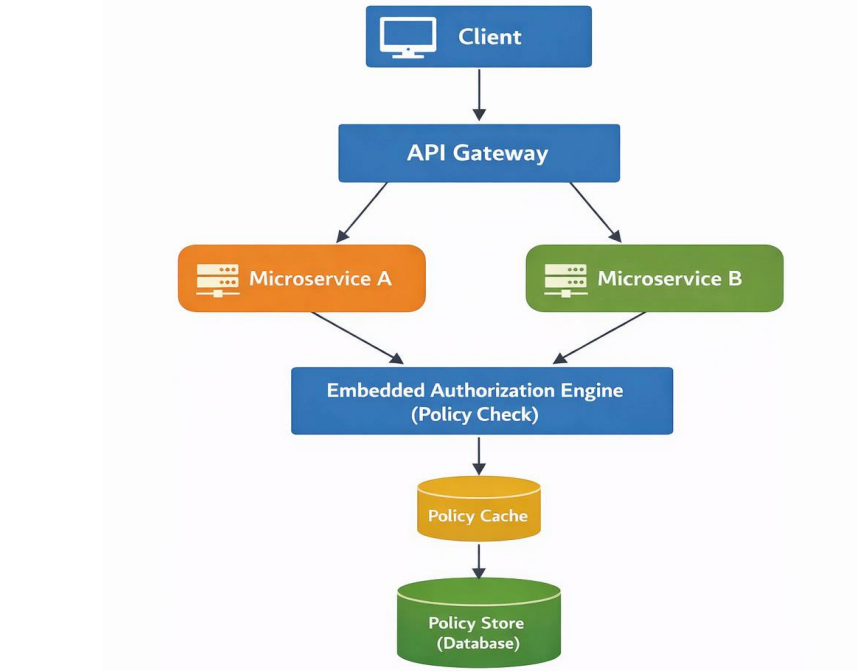


Рисунок 1. Архітектура розподіленої авторизації у мікросервісній системі

Отже, різні підходи до авторизації мають як переваги, так і обмеження, а їх вибір визначається специфікою конкретного випадку використання, архітектурними особливостями системи та вимогами до її продуктивності й безпеки. Застосування сучасних архітектурних рішень, таких як розподілена перевірка

доступу та кешування, дозволяє підвищити ефективність систем авторизації в умовах високих навантажень.

Список використаних джерел

1. Marquis, Y. A. (2024). From theory to practice: Implementing effective role-based access control strategies to mitigate insider risks in diverse organizational contexts. Journal of Engineering Research and Reports, 26(5), 138–154. https://doi.org/10.9734/jerr/2024/v26i51141

2. Hu V., Ferraiolo D., Kuhn R. (2014). Guide to Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations. NIST Special Publication 800-162. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-162

3. Policy-Based Access Control (PBAC): Debunking the Myths. Retrieved from https://www.golodiuk.com/news/pbac-debunking-myths/

4. Introduction to High Load: What is it? Geniusee. Retrieved from https://geniusee.com/single-blog/introduction-to-high-load-what-is-it

5. Newman S. (2021) Building Microservices. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media https://www.oreilly.com/library/view/building-microservices-2nd/9781492034018/

6. Wilson Y., Hingnikar A. Single Sign-On. In: Solving Identity Management in Modern Applications / Y. Wilson, A. Hingnikar. – Berkeley, CA: Apress, 2023. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8261-8_11

7. Borovskova Ye.A. (2024). Determining optimal caching strategies for improving performance of server applications on NestJS, 35(74), 18-26. https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/03

8. Офіційна документація Redis. URL: https://redis.io/docs/latest/ (дата звернення: 26.04.2026).

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКОГО ОБЛІКУ ДЛЯ ІНТЕРНЕТ МАГАЗИНУ

Зенько Дмитрій Володимирович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня, zenko.mitia@gmail.com
Здолбіцька Ніна Василівна
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, ninazdolb@gmail.com

WAREHOUSE INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM FOR AN ONLINE STORE

Dmitrii Volodymyrovych Zenko
Lutsk National Technical University, bachelor's student, zenko.mitia@gmail.com
Nina Vasylivna Zdolbitska
Lutsk National Technical University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Science, ninazdolb@gmail.com

The paper analyses approaches to developing a specialized warehouse management system for e-commerce. It is established that combining an intelligent inventory distribution algorithm with integrated team collaboration tools can eliminate software fragmentation and accelerate warehouse operations. The proposed solution is applicable to modern online stores where real-time data consistency and secure team coordination are critical.

Keywords: warehouse management system, e-commerce, information system, team collaboration, web application, access control, React, NestJS, PostgreSQL, Prisma ORM, JWT, RBAC.

Сучасний етап розвитку електронної комерції вимагає від підприємств високої швидкості обробки замовлень та абсолютної точності в управлінні товарними запасами. Традиційні підходи з використанням розрізнених програмних засобів не здатні забезпечити консистентність даних, що є критичним для підприємств, які працюють зі складною номенклатурою.

Сьогодні спостерігається еволюційний перехід від класичних баз даних складського обліку до систем виконання складських операцій. Такі рішення акцентують увагу не лише на зберіганні, а й на динамічному управлінні завданнями та персоналом у режимі реального часу [1]. Крім того, в умовах цифровізації бізнесу гостро постає потреба у впровадженні інформаційних систем для дистанційного відстеження роботи персоналу та аудиту їхніх дій [2]. Відповідно до цих тенденцій, метою даної роботи стало проєктування спеціалізованого вебдодатку, який поєднує інструменти логістики з модулями командної взаємодії.

Розроблена система побудована на базі технологічного стеку NERP (NestJS, React, PostgreSQL) із використанням абстракції Prisma ORM. Центральним елементом архітектури є алгоритм інтелектуального розподілу товарів. Він автоматизує процес розміщення надходжень: система аналізує атрибути категорії і резервує відповідну кількість просторових слотів на фізичних стелажах. Впровадження таких алгоритмів спирається на сучасні інтелектуальні підходи до оптимізації складських процесів у задачах розміщення та комплектування [3]. Застосування таких алгоритмів є практичною реалізацією інформаційних систем підтримки прийняття рішень [4].

Окрім логістичних функцій, програмний продукт вирішує завдання оптимізації внутрішніх комунікацій. Інтеграція інструментів для спільної роботи безпосередньо у робоче середовище є критично важливою для ефективного виконання командних завдань [5]. Вбудована Канбан-дошка та корпоративні чати дозволяють менеджерам і працівникам складу координувати статуси збирання замовлень та обробляти гарантійні випадки безпосередньо в середовищі WMS. Повна історія рухів фіксується у модулі аудиту (Inventory Log).

Окрему увагу в розробці приділено захисту комерційної інформації. Інтеграція механізму JWT-авторизації через маршрутні захисники (Guards) фреймворку NestJS та сувора рольова модель доступу (RBAC) гарантують, що критичні операції переміщення залишків можуть виконувати виключно

співробітники з відповідним рівнем привілеїв.

Отже, розроблений програмний продукт є комплексним рішенням, яке усуває проблему фрагментації програмного забезпечення, прискорює складські операції та створює безпечне, синхронізоване середовище для командної роботи персоналу.

Список використаних джерел

1. Ho N.K.U., Ngo A.T., Nguyen V.T., Tran T.H., Tran D., Vo H.K. (2025). Analysis of the development of Warehouse Execution Systems (WES) in warehouse management. Journal of Science and Development Economics. № 37. С. 173-177.

2. Щербачук Д.Ю., Здолбіцька Н.В. (2023). Інформаційні системи дистанційного відстеження роботи. Human Problems and Ways to Solve Them: Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy, October 23-25. С. 273-274.

3. Балвак, А., & Лащевська, Н. (2025). Інтелектуальні підходи до оптимізації складських процесів у задачах розміщення, комплектування та роботизації. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 1(29). С. 161-177.

4. Zdolbitska N., Komenda T., Terletskyi T., Ostapchuk O. (2024). Information System of Management and Decision-Making Using Fuzzy Logic. IX International scientific and practical conference «Scientific Problems and Options for Their Solution» (February 7-9, 2024). Bucharest, Romania, International Scientific Unity. P. 96-98.

5. Максим Кабанець, Ніна Здолбіцька (2025). Веб-додаток для керування проектом із можливістю командної роботи. Програмне та апаратне забезпечення в інформаційних технологіях: матеріали Міжнар. науково-практ. конф., м. Луцьк, 6 травня 2025 р. м. Луцьк. С. 74-76.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАНЯТЬ ТАНЦЯМИ НА ІНДИВІДУАЛЬНІЙ ОСНОВІ

Зівер Олександра Сергіївна
Національний університет «Запорізька політехніка», студентка групи КНТ-141
Льовкін Валерій Миколайович
Національний університет «Запорізька політехніка», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів, vliovkin@gmail.com

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR ORGANIZATION OF PRIVATE DANCE CLASSES

Ziver Oleksandra
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, student
Lovkin Valerii
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, vliovkin@gmail.com

Different stages of dance classes as a process are supported by the software developed and presented in the paper. It enables features for dancers, instructors. Existing applications do not provide such an approach.

Keywords: dance classes, dance partner, dance instructor, webapplication.

Заняття танцями на індивідуальній основі потребують врахування цілого ряду не тільки особливостей, але і етапів роботи.

По-перше, необхідно вирішити питання щодо того, хто буде організовувати тренування. Супутнім з цим питанням є те, де саме таке тренування буде відбуватися, тобто пошук майданчика для тренування.

По-друге, якщо це заняття танцями в парі, то така пара ще може мати потребу створення.

Існуюче програмне забезпечення, яке в тій чи іншій мірі підтримує організацію занять танцями, не направлено на індивідуальний підхід у всіх цих складових, тому що зазвичай це вебрішення, які підтримують діяльність певної студії, або виконують пошук партнерів для занять танцями, як наприклад, DancePartner [1], але не враховують інший вказаний аспект. Відповідно можна констатувати, що актуальність роботи полягає в тому, що існуючі програми не підтримують одночасно різні етапи, а також не враховують індивідуалістичний підхід, коли окремими одиницями можуть бути і кожен учасник пари, і тренер, а майданчики можуть пропонувати варіанти для підтримки такої взаємодії.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано розробити програмне забезпечення, яке за рахунок створення його у вигляді вебзастосунку повинно апелювати до різних категорій користувачів, сприяючи таким чином їх залученості в спільноту.

У роботі розроблено програму, здатну вирішувати цю проблему на практиці, на основі Python-вебфреймворку Django, що дозволило уніфікувати та спростити процес розробки, запроваджуючи цілий ряд функціональних можливостей для кожної ролі користувачів.

Для самих танцівників розробленою програмою у першу чергу надаються можливості пошуку партнерів, місць для занять, тренерів, представлення себе, коментування танцівників та тренерів, надається можливість комплексного пошуку, що спрощує цей процес за необхідності.

Для тренерів розробленою програмою надаються можливості зокрема визначення даних про себе, визначення тих місць для занять, де вони готові такі заняття проводити, якщо вони це обмежують, варіантів занять, керування заявками від танцівників тощо.

Список використаних джерел

1 DancePartner.com – Find a dance partner who shares your passion for dance – World-wide Dance Partner Search. URL: https://www.dancepartner.com/ (дата звернення: 13.05.2026).

ПРОТОТИП ІНТЕРПРЕТОВАНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ

Колодка Павло Андрійович
Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,
студент кафедри інженерії програмного забезпечення,
p.a.kolodka@student.khai.edu
Шевченко Ілона Володимирівна
Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,
к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення,
i.shevchenko@khai.edu

PROTOTYPE OF THE INTERPRETED PROGRAMMING LANGUAGE

Kolodka Pavlo
National Aerospace University «KhAI»,
student of the Software Engineering department,
p.a.kolodka@student.khai.edu
Shevchenko Ilona
National Aerospace University «KhAI»,
PhD, Associate Professor of the Software Engineering Department,
i.shevchenko@khai.edu

The paper explores the theoretical and practical aspects of designing an interpreted programming language prototype. The developed architecture demonstrates the feasibility of building lightweight, embeddable execution environments. The proposed perspective is applicable to academic research in compiler theory and industrial scenarios requiring custom domain-specific languages or rule engines.

*Keywords**:** domain-specific language, abstract syntax tree, interpreter, language prototype.*

У сучасній інженерії програмного забезпечення часто виникає потреба в інтеграції специфічних правил бізнес-логіки, складних конфігурацій або рушіїв правил (rule engines) безпосередньо у веб-застосунки. Створення повноцінної мови

загального призначення є надлишковим, тому на перший план виходить здатність розробляти легковісні прототипи предметно-орієнтованих мов (Domain-Specific Language, DSL) [1,2].

Метою роботи є розроблення та дослідження прототипу інтерпретованої мови програмування, що демонструє ключові принципи побудови інтерпретаторів і придатний до вбудовування у програмні застосунки.

Типова архітектура інтерпретаторів включає три основні компоненти: лексер (lexer), парсер (parser) та інтерпретатор (interpreter) [3, 4].

Як показано на рисунку 1, на вхід до інтерпретатора подається початковий код у вигляді потоку символів. Далі, компонент лексер генерує токени, які сприймаються як вхідні дані для парсеру. Токен – це мінімальна значуща одиниця лексичного аналізу, що належить до певної категорії граматики мови. Наприклад, вираз «1 + a» може бути представлений трьома токенами: «1» – числовий літерал, «+» – математичний оператор, «a» – ідентифікатор змінної.

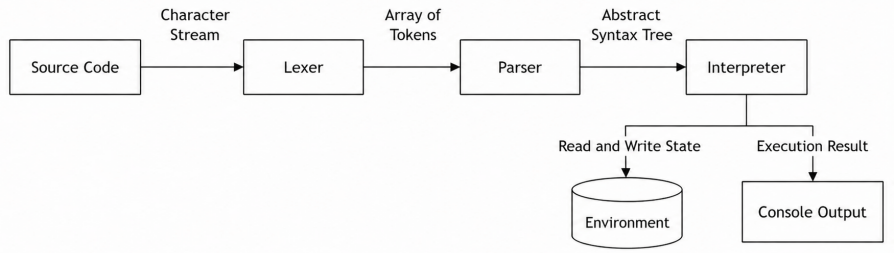


Рисунок 1. Діаграма потоку даних інтерпретатору

Парсер приймає масив вхідних токенів, його основна задача побудувати абстрактне синтаксичне дерево (Abstract Syntax Tree, AST) для подальшого оброблення в Runtime. В залежності від архітектури проєктованої мови, парсер може підтримувати інструкції та/або вирази.

Інструкція (statement) – синтаксична конструкція мови, що зазвичай не повертає значення сама по собі, прикладами можуть слугувати «return», «if», «while». Такі конструкції відокремлюються

токеном розділення, зазвичай крапкою з комою «;».

Вираз (expression) – синтаксична конструкція мови, що несе певне значення. Наприклад, «5», «10 – 1», виклик функції – все це повертає значення після його оцінювання.

Після побудови AST виконання передається інтерпретатору, який рекурсивно обходить вузли дерева та виконує закладені в них інструкції чи обчислює вирази. Для збереження стану програми під час її виконання використовується спеціальна структура даних – оточення.

Оточення (environment) є таблицею символів, яка зв'язує ідентифікатори з їхніми фактичними значеннями у пам'яті. Взаємодія інтерпретатора з оточенням відбувається таким чином. Коли інтерпретатор зустрічає інструкцію оголошення змінної, він створює новий запис в оточенні. Під час обчислення виразів, що містять змінні, інтерпретатор звертається до оточення для зчитування їхніх поточних значень. Крім того, оточення підтримує ієрархічну структуру – ланцюжок областей видимості (scope chain). Це дозволяє реалізувати локальні змінні всередині функцій чи блоків коду: якщо інтерпретатор не знаходить змінну в поточному (локальному) оточенні, він продовжує пошук у батьківському (глобальному), забезпечуючи правильну інкапсуляцію даних.

Важливим аспектом розроблення надійного інтерпретатора є система виявлення та обробки помилок. Під час аналізу вихідного тексту лексер фіксує поточний рядок та позицію символу для кожного згенерованого токена. Згодом ці дані переносяться парсером у відповідні вузли абстрактного синтаксичного дерева, що дозволяє транслятору точно вказати проблемне місце у вихідному файлі.

Загалом систему обробки помилок у реалізованому прототипі розділено на два основні класи, що відповідають етапам обробки коду:

1. Синтаксичні помилки (syntax errors) – виникають на етапі лексичного або синтаксичного аналізу, коли вхідний текст не відповідає граматичним правилам мови; до таких збоїв належать невідомі символи, незбалансовані або пропущені

дужки, а також неправильна структура інструкцій.

2. Помилки часу виконання (runtime errors) – виникають безпосередньо на етапі роботи інтерпретатора, коли синтаксично правильне дерево містить семантично недопустимі операції; прикладами таких ситуацій є звернення до неоголошеної змінної в поточному або батьківському оточенні, спроба викликати як функцію значення іншого типу або ж недопустимі математичні операції.

Висновки. У роботі розроблено та досліджено прототип інтерпретованої мови програмування, що складається з трьох ключових компонентів: лексера, парсера та інтерпретатора. Реалізована архітектура підтверджує можливість побудови легковісних вбудовуваних середовищ виконання, придатних для інтеграції предметно-орієнтованих мов у програмні застосунки. Підтримка ієрархічних оточень (scope chain) та двокласна система обробки помилок забезпечують достатній рівень надійності й розширюваності прототипу для подальших досліджень у галузі теорії компіляторів.

Список використаних джерел

1. Scott, M. L. (2015). Programming language pragmatics (4th ed.). Morgan Kaufmann.

2. Parr, T. (2009). Language implementation patterns: Create your own domain-specific and general programming languages (1st ed.). Pragmatic Bookshelf.

3. Nystrom, R. (2021). Crafting interpreters. Genever Benning. Retrieved from https://craftinginterpreters.com/

4. Aho, A. V., Lam, M. S., Sethi, R., & Ullman, J. D. (2006). Compilers: Principles, techniques, and tools (2nd ed.). Pearson Education.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ШВИДКОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СТУДЕНТІВ У ЗАКЛАДАХ ХАРЧУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Коробчук Назар Олександрович
ЛНТУ, студент кафедри інженерії програмного забезпечення, nazarkorobchuk08@gmail.com
Семенюк Владислав Григорович
ЛНТУ, студент кафедри інженерії програмного забезпечення, svg110308@gmail.com
Іванюк Маріанна Василівна
ЛНТУ, студентка кафедри архітектури та дизайну, mariannaivaniuk@gmail.com

OPTIMIZATION OF RAPID SERVICE PROCESSES FOR STUDENTS IN FOOD ESTABLISHMENTS USING MOBILE TECHNOLOGIES

Korobchuk Nazar Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, student of the Department of Software Engineering, nazarkorobchuk08@gmail.com
Semeniuk Vladyslav Hryhorovych
Lutsk National Technical University, student of the Department of Software Engineering, svg110308@gmail.com
Ivaniuk Marianna Vasylivna
Lutsk National Technical University, student of the Department of Architecture and Design, mariannaivaniuk@gmail.com

This document explores the development of a cross-platform mobile application "SheNaPari" designed to automate the food ordering process in university. The solution addresses the issue of long queues and limited break time for students. By implementing a system for remote ordering and real-time status tracking, the application optimizes service efficiency and improves the overall dining

experience. The technical implementation focuses on UI/UX (Figma), Mobile (Flutter), Backend (.NET).

Keywords: mobile application, process optimization, food ordering system, Flutter, .NET, Figma, UI/UX design, university automation, startup, B2B SaaS

Вступ. У ЛНТУ перерви між парами тривають всього 10 хвилин, а велика обідня — 30 хвилин. На перший погляд, цього достатньо, щоб поїсти. На практиці — ні. Саме на велику перерву в їдальні збирається найбільший потік студентів, і за пів години встигнути замовити, дочекатися й поїсти майже нереально.

Проблема. В університеті буфету немає — є тільки їдальня. Черга там рухається повільно: студенти штовхають підноси вздовж лінії роздачі, довго чекають, поки їх обслужать. А коли нарешті дочекалися — стикаються з ще однією проблемою: сидячих місць мало. Часто доводиться їсти стоячи або не їсти взагалі, бо пара починається через п'ять хвилин.

Альтернативи теж не рятують. Найближчий магазин поза університетом — «Сіммі» — у пікові години забитий тими ж студентами, і черги там не менші. Замовляти доставку невигідно: дорого, довго, плюс комісія за саму доставку, яка інколи перевищує вартість обіду.

Ідея. Так з'явилась ідея розробити проєкт «SheNaPari» (укр. «Ше на парі»). Це мобільний застосунок, який дозволяє студенту переглянути меню, оформити й оплатити замовлення «ше на парі». Поки він іде до їдальні — їжа вже готується. Замість того щоб 15 хвилин стояти в черзі, він просто забирає готове замовлення і встигає сісти поїсти.

Реалізація. Проєкт розробляє команда студентів-першокурсників:

— Дизайн (Figma) [4]: інтерфейс зробили з акцентом на швидкість — студент має оформити замовлення за пару хвилин, не відволікаючись від пари.

— Frontend (Flutter) [1]: один кодбейз працює на Android, iOS і у вебі.

— Backend (.NET) [2]: для статусів замовлень і миттєвих сповіщень про готовність використовуємо SignalR [3].

Висновок. «SheNaPari» розв'язує конкретну проблему конкретного університету (ЛНТУ): розвантажує черги в їдальні, дає студенту реальний шанс поїсти за 30 хвилин обідньої перерви й автоматизує облік замовлень для працівників. Простий інструмент, який економить найдефіцитніший студентський ресурс — час.

Список використаних джерел

1. Flutter Documentation. Build apps for any screen. URL: https://docs.flutter.dev/.

2. .NET Documentation. Microsoft Learn. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/.

3. ASP.NET Core SignalR Documentation. Real-time web functionality for apps. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/signalr/.

4. Figma Help Center. Design and prototyping for teams. URL: https://help.figma.com/.

ПРОЄКТУВАННЯ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ НАСТРОЮ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ЛОКАЛЬНОЇ LLM

Кравчук Арсентій Сергійович
Луцький національний технічний університет, студент, kravchuk.a0703.121.24@lntu.edu.ua
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

DESIGN OF A CLIENT–SERVER MOOD TRACKING SYSTEM WITH LOCAL LLM INTEGRATION

Kravchuk Arsentii Serhiiovych
Lutsk National Technical University, student, kravchuk.a0703.121.24@lntu.edu.ua
Yashchuk Andrii Anatoliiovych
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper considers the design of a client–server mood tracking system with local large language model integration for personalized recommendations and supportive dialogue. The proposed approach combines repeated mood entries, textual notes, analytics, and AI-generated feedback. The system improves contextual interpretation of emotional states while maintaining better privacy through local LLM deployment and server-side control mechanisms.

Keywords: mood tracking, large language model, personalized recommendations, mobile application, client–server architecture

Сучасний ритм життя супроводжується значним емоційним навантаженням і потребою в регулярному самоспостереженні за психоемоційним станом. Більшість мобільних застосунків для відстеження настрою зосереджені лише на фіксації стану та побудові базових графіків без врахування контексту записів, що знижує їх практичну цінність [1].

Актуальною проблемою є недостатня персоналізація рекомендацій: існуючі рішення часто не враховують текстові нотатки, події дня та тригери, а низька частота записів не дозволяє точно відображати динаміку настрою. Тому виникає потреба у системі, що поєднує структуровані та неструктуровані дані для інтелектуального аналізу емоційного стану [1].

Метою дослідження є проєктування клієнт-серверної системи моніторингу настрою з інтеграцією локальної великої мовної моделі (LLM) для формування персоналізованих рекомендацій та підтримувального діалогу з користувачем.

Система реалізована за клієнт-серверною архітектурою: мобільний клієнт створено на React Native з Expo для Android та iOS, серверну частину – на ASP.NET Core Web API з REST-ендпоінтами для автентифікації, роботи із записами настрою, статистики та AI-модуля. Для зберігання даних використовується MySQL, доступ до якої реалізовано через Entity Framework Core та Pomelo.EntityFrameworkCore.MySql.

Автентифікація здійснюється через одноразовий код підтвердження (OTP), надісланий на електронну пошту, після чого сервер генерує JWT-токен для доступу до захищених ресурсів API. Це забезпечує stateless-автентифікацію та спрощує масштабування системи.

Основна функціональність передбачає створення необмеженої кількості записів настрою протягом дня. Користувач обирає емоційний стан, додає текстову нотатку та отримує персоналізовану рекомендацію. AI-модуль враховує поточний запис, нотатку та кілька останніх записів, що дозволяє аналізувати короткострокову динаміку настрою [1].

Важливим компонентом є AI-чат у потоковому режимі (streaming), що забезпечує поступове отримання відповіді та зменшує затримку. Для локального запуску LLM використовується Ollama з моделлю aya-expanse:8b. Сервер виступає шлюзом між клієнтом і LLM: формує prompt, додає контекст, контролює відповіді та реалізує політики безпечної взаємодії [2].

Для візуалізації динаміки настрою реалізовано сторінку

статистики з графіками та календарем, де дні позначаються за домінуючим емоційним станом, що дозволяє швидко виявляти тенденції без ручного перегляду всіх записів.

Особлива увага приділена безпечному використанню LLM: система не надає медичних діагнозів чи призначень, а формує лише загальні підтримувальні рекомендації. У кризових випадках пріоритетом є рекомендація звернення до фахівця без генерації небезпечних інструкцій, що відповідає принципам risk-based integration generative AI та рекомендаціям NIST AI RMF [2, 3].

Отже, запропонована система забезпечує перехід від простого «журналювання» настрою до його контекстної інтерпретації. Поєднання EMA-підходу, текстових нотаток та LLM-модуля формує персоналізований інструмент підтримки користувача. Практична цінність рішення полягає у локальній AI-обробці без залежності від зовнішніх хмарних сервісів, що підвищує конфіденційність і контрольованість системи.

Список використаних джерел

1. de Vries L. P., Baselmans B. M. L., Bartels M. Smartphone-based ecological momentary assessment of well-being: A systematic review and recommendations for future research. Journal of Happiness Studies. 2021. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8550316/

2. Lawrence H. R., Schneider R. A., Rubin S. B. et al. The opportunities and risks of large language models in mental health. JMIR Mental Health. 2024. URL: https://mental.jmir.org/2024/1/e59479

3. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile (NIST AI 600-1). 2024. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.600-1.pdf

ВИКОРИСТАННЯ CLEAN ARCHITECTURE ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЕКТІВ

Луценко Михайло Миколайович
Луцький національний технічний університет, здобувач (першого) бакалаврського рівня вищої освіти, ОП Інженерія програмного забезпечення
lutsenko.m2107.121.24@lntu.edu.ua
Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення,
yuliapovstyana@ukr.net

USING CLEAN ARCHITECTURE AS A METHOD TO IMPROVE THE QUALITY OF EDUCATIONAL PROJECT DEVELOPMENT

Lutsenko Mykhailo
Lutsk National Technical University, applicant for (first) bachelor's degree in higher education, major in Software Engineering
lutsenko.m2107.121.24@lntu.edu.ua
Povstiana Yuliia
Lutsk National Technical University, Associate professor at the Department of Software Engineering,
yuliapovstyana@ukr.net

This article examines the problems of software design within the framework of student educational projects. The practical advantages of applying the principles of Clean Architecture are demonstrated using the example of developing a simulated e-commerce API (C# / .NET). It is argued that dividing the system into independent layers provides dependency inversion and facilitates unit testing of business logic. The practical value of the study lies in the adaptation of Clean Architecture principles for the educational environment, which solves the problem of student code monolithicity and ensures the independence of business rules from infrastructure constraints.

Keywords: Clean Architecture, .NET, API

У сучасному світі від розробників програмного забезпечення вимагається не лише знання синтаксису мов програмування, а й розуміння принципів проєктування для створення надійного та масштабованого програмного забезпечення. Однією з найпоширеніших проблем, з якою стикаються під час розробки навчальних проєктів є відсутність модульності. Студенти часто змішують бізнес-логіку з деталями інфраструктури. Така надмірна зв'язність коду робить його складним для підтримки та тестування. Одним із підходів до вирішенням даної проблеми є застосування принципів «Чистої архітектури» (Clean Architecture) [1].

У межах розробки навчального проєкту було створено API, яке імітує роботу електронного магазину. Практичною цінністю даного дослідження є впровадження принципів Clean Architecture до розроблюваної програми. Це дозволило змінити підхід до розробки, забезпечуючи ізоляцію бізнес-логіки та знижуючи зв’язність між шарами [2]. Такий підхід до архітектури дозволяє уникнути типових недоліків навчальних проєктів, у яких здобувачі освіти часто використовують монолітну структуру, за якою контролери безпосередньо взаємодіють з базою даних, а модулі сильно залежать один від одного. Під час розробки навчального API використовувалась платформа .NET (мова C#). Проєкт було розділено на незалежні шари, що зображено на рис. 1.

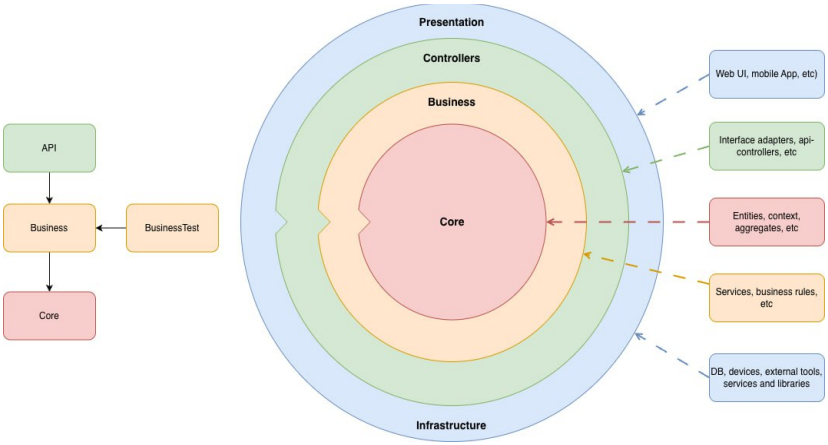


Рисунок 1. Шари проєкту

1. Core/Domain (Предметна область) – даний шар містить основні сутності (Entities), які є ключовими для роботи програми, а також зберігає ключову бізнес-логіку, що не залежить від жодної зовнішньої реалізації та використаних фреймворків.

2. Business (Логіка застосунку) – визначає сценарії використання (Use Cases), наприклад: «Додавання товару в кошик», «Створення замовлення», «Реєстрація користувача». Доступ до даних реалізований за допомогою використання абстракцій та інтерфейсів.

3. Infrastructure (Інфраструктура) – шар для реалізації доступу до бази даних (наприклад, через Entity Framework Core), інтеграції зі сторонніми сервісами та логування.

4. Api/Controllers (Представлення) – шар, який реалізовує контролери, що приймають HTTP-запити та передають їх до шару Business.

Розподіл проєкту на окремі шари дозволив продемонструвати на практиці принцип інверсії залежностей (Dependency Inversion). Головною перевагою даного принципа є можливість модифікації окремих компонентів незалежно один від одного. Таким чином ядро системи (шар Core), є повністю незалежним, а всі зовнішні шари мають залежати від внутрішнього [3]. На практиці це дозволяє гнучко змінювати компоненти системи. Наприклад, зміна системи управління базою даних у шарі Infrastructure жодним чином не вплине на моделі в шарі Core або бізнес-логіку в шарі Business. Завдяки впровадженню Clean Architecture було реалізовано 53 модульні тестів (із використанням xUnit та Moq). Таким чином це дало змогу повністю протестувати ключові сценарії роботи магазину за допомогою тестів, що не мають залежати від бази даних. Ще однією перевагою використання такої архітектури у розробленому програмному забезпеченні є легка масштабованість. За таким підходом нові модулі додаються як окремі компоненти, що мінімізує ризик появи помилок у вже працюючому функціоналі.

Попри значні переваги Clean Architecture, варто зазначити про певні недоліки, на які звертають увагу в сучасній розробці. Одним з головних недоліків є висока початкова складність написання структури проєкту, через наявність значної кількості

шаблонного коду, такого як: абстракції, інтерфейси, DTO (data-transfer-object) [4]. Для проєктів, які є невеликими, такий підхід може призвести до ускладнення системи та уповільнює темпи розробки програми [5]. Також велика кількість абстракцій та потреба постійно перетворювати моделі даних між шарами може призвести до невеликої втрати в продуктивності під час виконання запитів [6]. Однак для підготовки розробників до роботи з Enterprise-системами ці архітектурні витрати є абсолютно виправданими.

Отже, проведення дослідження підтверджує, що імплементація Clean Architecture в розробку студентських проєктів не лише усуває проблему надмірної зв'язності коду, а й є дієвим інструментом для професійної розробки програмного забезпечення. Такий підхід формує у студентів навички професійного проєктування, забезпечує модульність системи та значно підвищує зручність її тестування та супроводу.

Список використаних джерел

1. Microsoft. Common web application architectures: Clean architecture // Architect modern web applications with ASP.NET Core and Azure. 2024. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/modern-web-apps-azure/common-web-application-architectures#clean-architecture

2. Smith S. Clean Architecture Template for ASP.NET Core. 2024. URL: https://github.com/ardalis/CleanArchitecture

3. Taylor J. Clean Architecture Solution Template for .NET 8. 2024. URL: https://github.com/jasontaylordev/CleanArchitecture

4. Gramli. Clean Architecture in .NET: Real-World Pros, Cons and Trade-offs. *DEV Community*. 2026. URL: https://dev.to/gramli/clean-architecture-in-net-real-world-pros-cons-and-trade-offs-3m9i

5. Martyniuk A. N-Layered vs Clean vs Vertical Slice Architecture: Choosing the Right Approach for .NET Projects. *Anton Dev Tips*. 2025. URL: https://antondevtips.com/blog/n-layered-vs-clean-vs-vertical-slice-architecture

6. 12 Common Mistakes in Implementing Clean Architecture. *EzzyLearning*. 2023. URL: https://www.ezzylearning.net/tutorial/twelve-common-mistakes-in-implementing-clean-architecture

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ВИМОГАМИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ В ІТ-ПРОЄКТАХ

Ляшенко Оксана Анатоліївна
Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Український державний хіміко-технологічний університет», завідувач кафедри інформаційних систем, канд.техн.наук, доцент, o.a.liashenko@ust.edu.ua

METHODOLOGICAL ASPECTS OF MODELING REQUIREMENTS MANAGEMENT AND QUALITY ASSURANCE PROCESSES IN IT PROJECTS

Liashenko Oksana Anatoliivna
Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology", Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Information Systems, o.a.liashenko@ust.edu.ua

This study examines the integration of Agile approaches with system modeling to improve the quality of IT projects. It explores the role of CASE technologies in stabilizing architecture and managing requirements. The implementation of specialized subsystems for resource monitoring and quality control automation is justified.

Keywords: Agile, requirements management, IT project quality, system modeling, CASE technologies, resource monitoring

Сучасна ІТ-індустрія характеризується постійним ускладненням архітектури програмних рішень та динамічною зміною потреб кінцевих користувачів. У таких умовах моделювання процесів і управління якістю стають основою успішної реалізації будь-якого програмного продукту. Традиційні каскадні моделі (Waterfall) дедалі частіше замінюються Agile-підходами, які забезпечують рівновагу між високими якісними показниками та адаптивністю до ринкових змін. Проте, як зазначено в [1], ефективність гнучких методологій суттєво залежить від якості початкового проєктування та ретельності

деталізації завдань. Системне моделювання в даному контексті розглядається не як обтяжлива бюрократична процедура, а як засіб стабілізації проєкту в умовах високої невизначеності. У гнучких методологіях управління вимогами перетворюється зі статичного процесу збору документації на безперервний цикл верифікації та валідації.

Моделювання логіки на початкових етапах дозволяє візуалізувати функціональність системи та своєчасно ідентифікувати потенційні конфлікти інтересів серед зацікавлених сторін. Досвід розробки складних підсистем, зокрема тих, що призначені для інтеграції з соціальними мережами, демонструє, що глибокий аналіз вимог та розробка діаграм (наприклад, Use Case та Activity diagrams) становить необхідний етап, який передує безпосередньому кодуванню [1]. Такий підхід сприяє ітеративному розширенню архітектури, уникнувши повного рефакторингу на кожному ітераційному циклі. Ключовим аспектом у цьому контексті є забезпечення простежуваності вимог. Кожна користувацька історія (User Story) доцільно має бути логічно пов'язана з: бізнес-ціллю, відповідним архітектурним модулем, а також набором тест-кейсів для автоматизованого або ручного тестування.

Управління якістю в Agile виходить за межі лише виявлення дефектів. Воно охоплює комплексну організацію командної діяльності, де часові ресурси є найбільш критичними. Відповідно, автоматизація процесів планування та обліку трудовитрат набуває пріоритетного значення для менеджерів проєктів.

У роботі [2] підкреслюється, що стандартні інструменти управління проєктами, такі як Trello чи Jira, попри значну функціональність, виявляють певні обмеження в контексті специфічної аналітики. Зокрема, вони часто не завжди надають необхідної деталізації звітів для великих корпоративних систем, особливо коли виникає потреба в детальному аналізі фактичної вартості кожної функціональної можливості, враховуючи час, витрачений розробниками різної кваліфікації. У зв'язку з цим, актуальним завданням стає розробка та інтеграція власних

інформаційних підсистем для управління Agile-проєктами. Подібні системи надають можливість: здійснювати збір даних про робочий час у режимі реального часу; встановлювати кореляцію між витраченим часом та якістю виконання; прогнозувати швидкість роботи команди на основі історичних даних, що сприяє мінімізації ризиків недотримання термінів.

Моделювання бізнес-процесів управління передбачає візуалізацію життєвого циклу завдань за допомогою спеціалізованих дощок. Такий підхід втілює принципи прозорості та оперативного зворотного зв'язку. Запровадження індивідуалізованих циклів зміни статусів (наприклад, «To Do» → «In Progress» → «Code Review» → «Testing» → «Done») дозволяє ідентифікувати потенційні «вузькі місця» у робочому процесі.

Наприклад, якщо завдання накопичуються на етапі «Code Review», це може вказувати на низьку якість початкового коду або на надмірне навантаження на провідних розробників. У подібних випадках якість процесу визначається не лише відсутністю дефектів, але й ритмічністю розробки, що характеризується такими метриками як Cycle Time та Lead Time. Як свідчить досвід розробки спеціалізованих сервісів [2], інтеграція системи управління з наявними календарними системами та засобами комунікації формує єдине інформаційне середовище, що запобігає фрагментації контексту та дублюванню робочих операцій.

Особливу роль в аналізі процесів має архітектурне моделювання взаємодії системних компонентів. Застосування проміжних програмних прошарків для взаємодії із зовнішніми API вимагає розробки чітких специфікацій безпеки. У цьому контексті управління вимогами тісно переплітається з технічним проєктуванням: вимоги до конфіденційності та цілісності даних повинні бути інтегровані в архітектуру. Гнучкість розробки [1, 2] досягається завдяки масштабованості архітектури, за якої кожен модуль функціонує незалежно, але водночас суворо дотримується визначених інтерфейсів взаємодії. CASE-технології у Agile-середовищі функціонують як інтегруючий елемент між концепцією та її реалізацією. Вони дозволяють автоматизувати

генерацію документації на основі моделей, що сприяє вирішенню однієї з ключових проблем гнучких методологій – дефіциту актуальної системної документації. Застосування інструментів візуального моделювання (UML, BPMN) у поєднанні з системами автоматизованого тестування уможливлює формування так званого «конвеєра якості». У такому середовищі будь-яка модифікація вимог оперативно відображається в архітектурній моделі, а потім – у відповідних планах тестування.

Інтеграція методів управління якістю та сучасних технологій моделювання дозволяє значно підвищити ефективність ІТ-проєктів. Використання гнучких методологій у поєднанні зі спеціалізованими підсистемами планування робочого часу та аналізу вимог створює синергетичний ефект. Це дозволяє не лише скорочувати час виходу продукту на ринок, але й гарантувати його високу якість за рахунок мінімізації впливу людського фактора на етапах збору даних та контролю за виконанням робіт.

Список використаних джерел

1. Борсук С.Ю., Ляшенко О.А. Проєктування підсистеми розміщення публікацій у соціальних мережах та застосування гнучкої методології для управління проєктом розробки // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2023): матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 1-3 листопада 2023 року). – Дніпро, ДВНЗ УДХТУ, 2023. – С. 150-151. https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/zbirnyk-tez-kmoss-2023.pdf

2. Олійник І.О., Ляшенко О.А. Інформаційна Agile-підсистема управління командною роботою // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2023): матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 1-3 листопада 2023 року). – Дніпро, ДВНЗ УДХТУ, 2023. – С. 202-203. https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/zbirnyk-tez-kmoss-2023.pdf

РОЗРОБКА WPF-ДОДАТКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ MVVM-АРХІТЕКТУРИ

Модло Уляна Євгеніївна
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, здобувач освіти, ulyamodlo7@gmail.com
Антоненко Світлана Валентинівна
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент, antonenko_s@365.dnu.edu.ua

DEVELOPING WPF APPLICATIONS USING MVVM ARCHITECTURE

Modlo Uliana Yevheniivna
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, student, ulyamodlo7@gmail.com
Antonenko Svitlana Valentynivna
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Associate Professor, antonenko_s@365.dnu.edu.ua

The thesis examines the development of WPF applications using the MVVM architectural pattern. The main advantages of MVVM, including separation of logic, maintainability, scalability, and simplified testing, are analyzed. The interaction between Model, View, and ViewModel components is described, as well as the use of data binding and commands in modern desktop application development.

Keywords: WPF, MVVM, desktop application, software architecture, data binding, C#, ViewModel, .NET, user interface, application development

У сучасному світі розробка програмного забезпечення потребує створення зручних, масштабованих та простих у підтримці застосунків. Однією з популярних технологій для створення настільних програм у середовищі Windows є Windows Presentation Foundation (WPF), яка входить до платформи .NET та надає широкі можливості для побудови графічного інтерфейсу користувача [1]. Для організації структури таких застосунків часто використовується архітектурний патерн MVVM (Model-

View-ViewModel), який дозволяє розділити логіку програми, інтерфейс та роботу з даними, що значно спрощує процес підтримки та масштабування програмного забезпечення [2].

Основною перевагою WPF є підтримка декларативного опису інтерфейсу за допомогою мови XAML. Це дозволяє відокремити візуальну частину застосунку від програмної логіки та спростити процес створення інтерфейсу користувача [4].

Архітектура MVVM складається з трьох основних компонентів: Model, View та ViewModel. Компонент Model відповідає за роботу з даними та бізнес-логікою. View представляє графічний інтерфейс користувача, а ViewModel забезпечує взаємодію між інтерфейсом та даними [3]. Такий підхід дозволяє мінімізувати залежності між компонентами, покращити читабельність коду та спростити тестування програмного забезпечення.

Однією з ключових особливостей MVVM є використання механізму прив’язки даних. Завдяки Data Binding зміни у ViewModel автоматично відображаються в інтерфейсі користувача без необхідності ручного оновлення елементів [5]. Для реалізації цього механізму часто використовується інтерфейс INotifyPropertyChanged, який повідомляє систему про зміну значень властивостей та забезпечує актуальність відображених даних [1]. Також важливим елементом MVVM є використання команд замість прямої обробки подій у коді інтерфейсу. Команди дозволяють переносити логіку взаємодії користувача з елементами керування до ViewModel, що забезпечує кращу організацію коду [2].

Для прикладу, технологія WPF та архітектурний патерн MVVM були використані під час розробки дипломного проєкту, пов’язаного зі створенням програмної моделі рахівниці та компілятора для емуляції обчислювальних процесів. У межах проєкту MVVM дозволив розділити логіку роботи емулятора, обробку команд компілятора та графічний інтерфейс користувача. Використання прив’язки даних забезпечило автоматичне оновлення стану елементів рахівниці під час виконання операцій, а застосування команд спростило реалізацію взаємодії

користувача із системою. Це дозволило зробити структуру застосунку більш зрозумілою, гнучкою та зручною для подальшого розширення функціоналу.

Досить часто MVVM порівнюють з іншим популярним архітектурним підходом – MVC (Model-View-Controller). Обидва патерни спрямовані на розділення логіки застосунку та інтерфейсу користувача, проте MVVM краще адаптований саме для технологій із підтримкою прив'язки даних, зокрема WPF. У MVC контролер безпосередньо обробляє дії користувача та оновлює представлення, тоді як у MVVM основна взаємодія здійснюється через механізм Data Binding між View та ViewModel. Це дозволяє зменшити кількість коду, пов'язаного з інтерфейсом, і зробити застосунок більш підтримуваним у довгостроковій перспективі [3].

Таким чином, поєднання технології WPF та архітектурного патерну MVVM дозволяє створювати сучасні настільні застосунки з чіткою структурою, високою підтримуваністю та зручним інтерфейсом користувача. Використання цього підходу є актуальним у сучасній програмній інженерії та сприяє підвищенню ефективності процесу розробки програмного забезпечення [1, 5].

Список використаних джерел

1. Troelsen, A., & Japikse, P. (2022). Pro C# 10 with .NET 6: Foundational principles and practices in programming (11th ed.). Apress.

2. MacDonald, M. (2012). Pro WPF 4.5 in C#: Windows Presentation Foundation in .NET 4.5 (4th ed.). Apress.

3. Smith, J. (2013). Advanced MVVM. Josh Smith.

4. Litvinavicius, T. (2021). Exploring Windows Presentation Foundation: With practical applications in .NET 5. Apress.

5. Microsoft. (2026). Windows Presentation Foundation Documentation. https://learn.microsoft.com/dotnet/desktop/wpf/.

ІНТЕГРАЦІЯ API ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БАЗОВІ .NET ДОДАТКИ

Морохович Богдан Васильович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», аспірант кафедри програмного забезпечення систем, bohdan.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Бабічук Дмитро Миколайович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», студент кафедри програмного забезпечення систем, dmytro.babichuk@student.uzhnu.edu.ua

INTEGRATING AI APIS INTO .NET APPLICATIONS

Morokhovych Bohdan Vasylovych
Uzhhorod National University, PhD student in the Department of Software Systems, bohdan.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Babichuk Dmytro Mykolayovych
Uzhhorod National University, student in the Department of Software Systems, dmytro.babichuk@student.uzhnu.edu.ua

The article investigates the implementation of cloud-based AI APIs into .NET application architecture as an effective solution for overcoming the technical barriers associated with the local deployment of neural network models. Based on an analysis of contemporary technology stacks, the study justifies the feasibility of employing the Semantic Kernel framework and the MVVM architectural pattern to develop unified interaction interfaces with remote intelligent services. Furthermore, an algorithm for constructing asynchronous network requests within the Task Asynchronous Pattern paradigm is established, ensuring graphical user interface stability and high client-side performance when integrated with multimodal models.

Keywords: artificial intelligence, AI API integration, .NET desktop applications, MVVM architecture.

Актуальність дослідження зумовлена інтенсивною еволюцією технологій машинного навчання та їх детермінованим

впливом на сучасне прикладне програмне забезпечення. Сучасний стан IT-ринку формує запит на десктопні застосунки, функціональність яких виходить за межі базових операцій і охоплює інструменти обробки природної мови, комп'ютерного зору та інтелектуальної аналітики. Для програмних продуктів, побудованих на платформах WPF та WinUI, впровадження інтелектуальних модулів є критичною умовою збереження технічної актуальності та конкурентоспроможності в екосистемі .NET.

Проблема локального розгортання нейромереж полягає у високих апаратних вимогах та обсягах дистрибутивів, що обмежує незалежну розробку. Оптимальним рішенням є застосування хмарних API для делегування ресурсомістких обчислень на віддалені сервери. Це нівелює технічні бар'єри, забезпечуючи високу продуктивність клієнтської частини при мінімальному навантаженні на кінцеві пристрої.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування уніфікованого алгоритму інтеграції AI API у десктопні C#-застосунки, який би гарантував стабільність GUI, безпеку передачі даних та архітектурну інваріантність щодо зміни постачальника послуг штучного інтелекту.

Теоретичний аналіз технічної документації та матеріалів профільних конференцій Microsoft за 2025-2026 роки підтверджує пріоритетність використання фреймворку Semantic Kernel як стандартизованого інтерфейсу між прикладним кодом та моделями серії GPT [1]. Доведено, що архітектурний шаблон MVVM (Model-View-ViewModel) є найбільш ефективним інструментом для управління асинхронними потоками даних у WPF-застосунках, інтегрованих з AI-сервісами [2]. Водночас у вітчизняному науковому дискурсі констатується недостатність комплексних досліджень, присвячених прикладним аспектам мережевої взаємодії в інтелектуальних системах, що обґрунтовує доцільність подальшого наукового аналізу даної проблематики.

Процес інтелектуалізації прикладного програмного забезпечення на базі мови C# у сучасних умовах трансформується з площини розробки складних локальних математичних

алгоритмів у сферу проєктування високоефективних мережевих інтерфейсів та обробки результатів зовнішніх запитів. Актуальна технологічна інфраструктура забезпечує широкий спектр можливостей для доступу до претренованих моделей через архітектуру REST API, що дозволяє розробнику змістити фокус на конфігурацію взаємодії та інтеграцію готових аналітичних рішень у структуру застосунку.

Порівняльний аналіз найбільш затребуваних платформ для інтеграції штучного інтелекту наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Техніко-функціональні характеристики платформ інтеграції AI-сервісів у екосистему .NET

Назва сервісу	Функціональне призначення моделей	Складність імплементації в середовищі C#
OpenAI API	Генерація текстового контенту, синтез програмного коду, розробка діалогових систем	Середня (через REST-запити або спеціалізовані SDK)
Azure Cognitive Services	Мультимодальний аналіз: розпізнавання мовлення, комп'ютерний зір	Низька (завдяки нативній підтримці пакетів NuGet)
Anthropic API	Глибокий аналіз та обробка великих масивів неструктурованих текстових даних	Середня (шляхом конфігурації асинхронних REST-запитів)

Результати технічного аналізу свідчать, що імплементація функцій штучного інтелекту в десктопне програмне забезпечення потребує суворої регламентації етапів інтеграції для мінімізації ризиків виникнення критичних помилок та збереження модульної цілісності архітектури. Процес інтеграції охоплює отримання автентифікаційних параметрів від хмарного провайдера у вигляді API-ключа, програмну ізоляцію мережевої логіки шляхом створення спеціалізованих сервісних класів для роботи з HTTP-клієнтом, а також формування структурованих пакетів даних у форматі JSON, що містять системні інструкції, параметри генерації та запити користувача. Завершальні стадії передбачають

ініціацію асинхронних POST-запитів, десеріалізацію отриманих відповідей та їх подальшу трансляцію на рівень представлення (View) за допомогою механізмів зв'язування (Binding) у межах архітектурного шаблону ViewModel.

Критичним аспектом розробки таких рішень є управління потоками виконання, оскільки латентність мережевих запитів до нейромереж може варіюватися від мілісекунд до десятків секунд. Виконання запитів у головному потоці (UI Thread) призводить до блокування інтерфейсу, що є неприпустимим для сучасних програмних продуктів. В екосистемі .NET зазначена проблема розв'язується шляхом застосування парадигми асинхронного програмування Task Asynchronous Pattern (TAP). Використання операторів «async» та «await» дозволяє звільнити UI-потік на час очікування відповіді сервера. У поєднанні з патерном сповіщення про зміну стану властивостей (інтерфейс INotifyPropertyChanged), архітектура MVVM забезпечує автоматичне оновлення візуальних компонентів без прямого маніпулювання елементами інтерфейсу.

Таким чином, впровадження хмарних AI API у C#-застосунки якісно розширює їхній функціонал без додаткового навантаження на локальні апаратні ресурси. Стандартний інструментарій .NET, зокрема клас HttpClient та механізми асинхронності, повністю задовольняє потреби у надійній взаємодії між клієнтом та ШІ-сервісом. Перспективними напрямами подальших досліджень є розробка алгоритмів оптимізації локального кешування для зменшення витрат на мережевий трафік та дослідження можливостей інтеграції компактних моделей (Small Language Models) через фреймворк ML.NET для забезпечення автономності роботи.

Список використаних джерел

1. Microsoft. Semantic Kernel: Building AI-driven applications with .NET 10. Microsoft Learn. 2025. URL: https://learn.microsoft.com/semantic-kernel.

2. Microsoft Agent Framework. Microsoft DevBlogs. 2026. URL: https://devblogs.microsoft.com/agent-framework/.

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОГРАМУВАННЯ

Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Яворський Петро Володимирович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», доктор філософії, старший викладач кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, yavorskyi.petro@uzhnu.edu.ua
Феделеш Дарина Василівна
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри програмного забезпечення систем, fedelesh.daryna@student.uzhnu.edu.ua

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS FOR PROGRAMMING AUTOMATION

Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Yavorskyi Petro Volodymyrovych
Uzhhorod National University, PhD, Senior Lecturer of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, yavorskyi.petro@uzhnu.edu.ua
Fedelesh Daryna Vasylivna
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Software Systems, fedelesh.daryna@student.uzhnu.edu.ua

The study presents a conceptual model for integrating generative artificial intelligence into software engineering and development lifecycles. A comparative analysis is conducted between traditional manual coding methodologies and automated approaches

based on Large Language Models. Particular emphasis is placed on iterative verification cycles of AI-generated code and automated testing mechanisms that ensure the reliability and security of the final software product. The described framework demonstrates the evolving role of the developer within the synergy of intelligent automation systems.

Keywords: generative AI, software development, Large Language Models, automated coding, software development lifecycle.

Стрімкий розвиток генеративних моделей штучного інтелекту (ШІ), зокрема великих мовних моделей (LLM – Large Language Models), суттєво змінює парадигму розробки програмного забезпечення (ПЗ). Такі інструменти, як GitHub Copilot, ChatGPT, Claude та Gemini, набувають дедалі ширшого застосування у практичній діяльності програмістів, автоматизуючи рутинні завдання написання коду, генерацію тестів, документування та рефакторинг [1]. Попри значний потенціал цих технологій, їх активне впровадження супроводжується низкою серйозних ризиків, що зумовлює необхідність комплексного аналізу як переваг, так і загроз, пов'язаних із застосуванням генеративного ШІ в процесі автоматизації програмування.

У рамках дослідження розглянуто функціональні можливості сучасних LLM-асистентів у контексті розробки ПЗ, систематизовано їхні ключові переваги та ідентифіковано основні ризики. Серед головних переваг можна виокремити наступні: підвищення продуктивності розробників завдяки автодоповненню коду та генерації шаблонних конструкцій, прискорення прототипування та зниження часу виходу продукту на ринок, підтримка початківців через інтерактивне пояснення алгоритмів і підходів до вирішення задач, автоматизація написання юніт-тестів і технічної документації [2]. Слід зазначити, що використання генеративних моделей несе в собі суттєві ризики, пов'язані з безпекою ПЗ, захистом інтелектуальної власності та якістю генерованого коду.

Особливу увагу в дослідженні приділено проблемі генерації

небезпечного коду. Встановлено, що сучасні LLM-моделі здатні відтворювати відомі вразливості, такі як SQL-ін'єкції, переповнення буфера та некоректна обробка помилок, якщо навчальна вибірка містила подібні приклади. Також розглянуто явище «галюцинацій» – генерації синтаксично коректного, проте логічно хибного або неіснуючого коду, що може призвести до прихованих дефектів у програмному продукті [3]. Проблема надмірного покладання розробника на автоматичні підказки моделі ризикує знизити рівень критичного мислення та поглибленого розуміння алгоритмів, особливо серед junior-спеціалістів.

Концептуальна схема детермінує архітектуру інтеграції генеративного штучного інтелекту в життєвий цикл розробки ПЗ, виокремлюючи дихотомію між традиційним мануальним кодуванням та автоматизованим підходом на основі LLM (рис. 1).

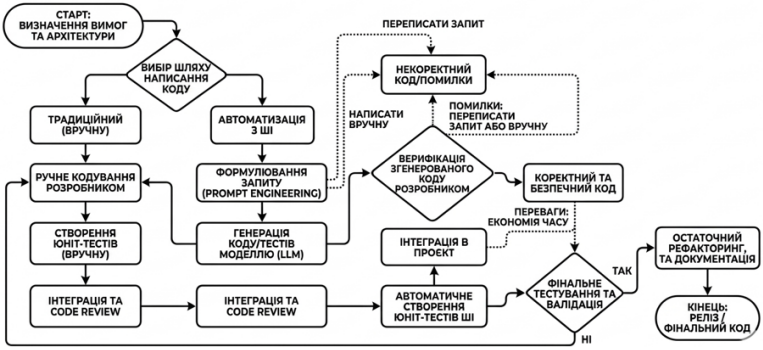


Рисунок 1. Схема інтеграції генеративного ШІ в процеси розробки ПЗ

Процес ініціюється етапом визначення вимог, після чого слідує розгалуження методологій, одна з яких ілюструє класичну послідовність ручного написання коду, створення юніт-тестів та інтеграції, тоді як інша – розкриває ітераційний цикл взаємодії з ШІ через промпт-інжиніринг, генерацію та обов'язкову верифікацію результатів розробником. Центральне місце в схемі посідає механізм валідації та корекції помилок, що забезпечує перехід від згенерованих фрагментів до коректного й безпечного коду, який після фінального тестування, рефакторингу та документації трансформується в кінцевий програмний продукт,

підтверджуючи синергію людського інтелекту та автоматизованих інструментів у сучасній інженерії ПЗ.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка рекомендацій щодо безпечного та ефективного використання генеративних моделей ШІ в командах розробників, включаючи стратегії верифікації згенерованого коду, інтеграцію статичного аналізу безпеки у CI/CD-конвеєри та впровадження корпоративних політик використання ШІ-інструментів. Актуальним є також дослідження впливу LLM-асистентів на процеси навчання майбутніх програмістів у закладах вищої освіти.

Отже, генеративні моделі ШІ відкривають можливості для підвищення ефективності та швидкості розробки ПЗ, однак їх застосування вимагає усвідомленого підходу та дотримання принципів безпечного кодування. Баланс між автоматизацією та критичним контролем якості з боку розробника є ключовою умовою відповідального використання ШІ-інструментів у сучасній програмній інженерії.

Список використаних джерел

1. Chen, M., Tworek, J., Jun, H., & et al. (2021). Evaluating large language models trained on code. arXiv preprint arXiv:2107.03374. https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.03374.

2. Barke, S., James, M. B., & Polikarpova, N. (2023). Grounded copilot: How programmers interact with code-generating models. Proceedings of the ACM on Programming Languages, 7(OOPSLA1), 85–111. https://doi.org/10.1145/3586030.

3. Pearce, H., Ahmad, B., Tan, B., Dolan-Gavitt, B., & Karri, R. (2022). Asleep at the keyboard? Assessing the security of GitHub Copilot's code contributions. 2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 754–768. https://doi.org/10.1109/SP46214.2022.9833571.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕБЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОРІВНЕВОГО КЕШУВАННЯ

Надашкевич Анастасія Геннадіївна
Луцький національний технічний університет, магістрант 1 курсу спеціальності «Інженерія програмного забезпечення», nastia.nadashkevich@gmail.com
Ліщина Наталія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

OPTIMIZATION OF WEB APPLICATION PERFORMANCE USING MULTI-LEVEL CACHING

Nadashkevych Anastasiya
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, nastia.nadashkevich@gmail.com
Lishchyna Nataliia
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

The paper considers multi-level caching as an approach to improving web application performance. The main caching levels and their role in reducing system load are described.

Keywords: web application, performance, caching, optimization.

У сучасному цифровому середовищі вебзастосунки відіграють важливу роль у забезпеченні функціонування інформаційних сервісів, бізнес-платформ та комунікаційних систем. Постійне зростання кількості користувачів, обсягів оброблюваних даних та складності програмних рішень зумовлює підвищення вимог до швидкодії, стабільності та масштабованості вебсистем. У зв’язку з цим особливої актуальності набуває проблема оптимізації продуктивності вебзастосунків.

Одним із базових підходів до підвищення ефективності роботи вебсистем є використання кешування. Кешування – це механізм тимчасового збереження результатів обчислень або часто використовуваних даних з метою повторного їх використання без необхідності повторної обробки. Такий підхід дозволяє зменшити кількість запитів до серверів та баз даних, скоротити час відповіді системи та підвищити загальну ефективність її функціонування [1].

У сучасних високонавантажених вебзастосунках все більшого поширення набуває концепція багаторівневого кешування. Вона передбачає організацію декількох рівнів кешу, кожен з яких виконує свою функцію в архітектурі системи. Зокрема, на клієнтському рівні використовується кеш браузера, який дозволяє зберігати статичні ресурси та зменшувати кількість повторних запитів до сервера [2]. На мережевому рівні застосовуються CDN-сервіси (Content Delivery Network), які забезпечують швидке доставлення контенту користувачам за рахунок географічно розподілених серверів.

Серверний рівень кешування передбачає використання оперативної пам’яті для зберігання даних, що часто запитуються, із застосуванням таких інструментів, як Redis або Memcached. Це дозволяє значно прискорити обробку запитів та зменшити навантаження на сервер [3]. Окремо виділяється рівень бази даних, де застосовується кешування результатів SQL-запитів або використання механізмів внутрішнього кешу СУБД.

Важливою перевагою багаторівневого кешування є можливість комплексної оптимізації системи, оскільки кожен рівень кешу доповнює інший і забезпечує зниження навантаження на різні компоненти архітектури. Такий підхід дозволяє досягти високої продуктивності навіть за умов значного зростання кількості користувачів і запитів [4].

Разом із перевагами використання кешування існують і певні труднощі, зокрема проблема актуальності даних. Збереження застарілої інформації в кеші може призводити до некоректної роботи системи, тому важливим аспектом є реалізація механізмів інвалідації кешу та його оновлення. Також

необхідно враховувати баланс між обсягом кешованих даних і доступними ресурсами системи.

Отже, багаторівневе кешування є одним із найбільш результативних підходів до оптимізації продуктивності вебзастосунків, оскільки воно забезпечує комплексний вплив на всі ключові елементи інформаційної системи. Використання кешу на рівні клієнта, мережевої інфраструктури, серверного середовища та бази даних дає змогу істотно скоротити час обробки запитів, зменшити затримки під час передавання даних і мінімізувати кількість повторних звернень до ресурсомістких компонентів системи. Завдяки цьому підвищується швидкодія вебзастосунку, поліпшується користувацький досвід, а також забезпечується більш раціональне використання обчислювальних ресурсів серверної інфраструктури. Особливо важливим багаторівневе кешування є для високонавантажених систем, де навіть незначне зниження навантаження на сервер або базу даних може суттєво вплинути на стабільність і безперервність роботи сервісу.

Список використаних джерел

1. Correia F., Ribeiro Ó., Silva J. C. Progressive web apps development: Study of caching mechanisms. *2021 21st International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA).* 2021. P. 181-187.

2. Базиволяк М. І., Шмигер Г. П. Порівняльний аналіз механізмів кешування в прогресивних вебзастосунках. *Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи*. 2025. С. 132-135.

3. Киричек Г. Г., Тягунова М. Ю., Братчиков В. В. Система кешування даних в розгалуженій мікросервісній архітектурі. *Вчені записки*. 2024. С. 141-146.

4. Шутенко В. М. Аналіз ефективності багаторівневого кешування в розподілених інформаційних системах. *Вчені записки*. 2025. С. 317-324.

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ВХІДНИХ ДАНИХ НА ДЕГРАДАЦІЮ АЛГОРИТМУ QUICK SORT

Нестерук Ірина Юріївна
здобувачка вищої освіти, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», i.y.nesteruk@student.khai.edu
Кіндєєва Анастасія Олександрівна
здобувачка вищої освіти, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», a.o.kindieieva@student.khai.edu
Лучшева Оксана Вадимівна
старший викладач, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», o.luchsheva@khai.edu

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF INPUT DATA STRUCTURE ON QUICK SORT ALGORITHM DEGRADATION

Nesteruk Iryna Yuriivna
undergraduate student, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, i.y.nesteruk@student.khai.edu
Kindieieva Anastasiia Oleksandrivna
undergraduate student, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, a.o.kindieieva@student.khai.edu
Luchsheva Oksana Vadymivna
Senior Lecturer, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, o.luchsheva@khai.edu

The paper examines the influence of input data structure on the performance of the Quick Sort algorithm. It is shown that the algorithm’s execution time significantly depends on data distribution. Special attention is paid to cases where the time complexity approaches the worst-case behavior. Experimental results confirm that specific data structures lead to algorithm degradation.

Keywords: Quick Sort, input data structure, algorithm degradation, time complexity, sorting algorithms.

Вступ. Алгоритми сортування широко використовуються під час обробки даних у програмному забезпеченні. Одним із найпоширеніших є алгоритм швидкого сортування (Quick Sort), який у типовому випадку забезпечує швидке впорядкування масивів [1]. Водночас його поведінка залежить від структури вхідних даних, що в окремих випадках може призводити до суттєвого збільшення часу виконання.

Теоретичні оцінки складності алгоритму не завжди відображають його поведінку в практичних умовах, оскільки вони не враховують особливості конкретних вхідних даних [2]. У зв'язку з цим виникає необхідність експериментального вивчення часу виконання алгоритму для різних структур масивів.

У роботі розглядаються випадки, коли час сортування зростає значно швидше, ніж для випадкових даних, і наближається до найгіршого випадку $O(n^2)$. Такі ситуації інтерпретуються як деградація алгоритму та аналізуються причини її виникнення. Метою роботи є вивчення поведінки алгоритму Quick Sort для різних структур вхідних даних.

Аналіз літератури. Алгоритм швидкого сортування (Quick Sort), запропонований Ч. Гоаром, є одним із найбільш досліджених алгоритмів сортування та широко використовується в практиці програмування [1, 5]. У класичних роботах та навчальних виданнях основна увага приділяється аналізу його асимптотичної складності, яка у середньому випадку становить $O(n \log n)$, а також дослідженню впливу вибору опорного елемента на ефективність роботи алгоритму [2]. Значна кількість робіт також присвячена оптимізації реалізацій Quick Sort, зокрема вибору стратегії розбиття масиву та зменшенню кількості операцій обміну [3, 4].

Разом із тим у більшості досліджень ефективність алгоритму розглядається переважно з теоретичної точки зору або в умовах випадкових даних. Питання впливу структури вхідних масивів на практичний час виконання алгоритму, зокрема у випадках впорядкованих або специфічно сформованих даних, висвітлено менш детально. Це зумовлює необхідність експериментального вивчення поведінки Quick Sort для різних

типів вхідних даних та виявлення умов, за яких спостерігається його деградація.

Методика дослідження. Для вивчення впливу структури вхідних даних на час виконання алгоритму Quick Sort було реалізовано програму мовою C++, що виконує сортування одновимірних масивів цілих чисел. Алгоритм реалізовано у вигляді рекурсивної функції з використанням середнього елемента підмасиву як опорного.

Дослідження проводилося для масивів розміром $n = 50, 100, 500, 1000, 5000$ та 10000 елементів. Для кожного значення n формувалися масиви з різною структурою: випадкові (генеровані за допомогою стандартного генератора псевдовипадкових чисел), відсортовані за зростанням, відсортовані за спаданням, майже відсортовані (шляхом виконання обмеженої кількості випадкових перестановок елементів) та масиви з однаковими значеннями.

Час виконання алгоритму вимірювався з використанням засобів стандартної бібліотеки $std::chrono$ з фіксацією тривалості сортування в мілісекундах [6]. Для зменшення впливу випадкових факторів кожен експеримент виконувався 100 разів, після чого визначалося середнє значення часу сортування.

Перед початком вимірювань для кожного запуску формувався новий масив відповідного типу, що забезпечувало незалежність експериментів. Усі вимірювання проводилися в однакових умовах виконання програми.

Отримані результати вносилися до таблиці, на основі якої будувалися графіки залежності часу виконання алгоритму від розміру масиву та структури вхідних даних, що дозволило виявити випадки його деградації.

Практична частина. Результати вимірювання часу виконання алгоритму Quick Sort, реалізованого з використанням схеми розбиття Гоара, для масивів різної структури наведено в табл. 1. Аналіз результатів, показує, що для більшості типів вхідних даних (випадкових, відсортованих та майже відсортованих масивів) час виконання алгоритму зростає поступово та має подібний характер, що узгоджується з оцінкою

$O(n \log n)$. Це свідчить про те, що в цих випадках розбиття масиву залишається відносно збалансованим.

Таблиця 1. Час виконання Quick Sort (схема Гоара) для різних структур вхідних даних (мс)

n	Випадковий	Зростання	Спадання	Майже відсортований	Однакові
50	0,010	0,006	0,010	0,007	0,015
100	0,019	0,012	0,019	0,013	0,032
500	0,120	0,085	0,110	0,090	0,420
1 000	0,247	0,183	0,219	0,191	0,948
5 000	1,420	1,100	1,550	1,200	12,800
10 000	2,805	2,102	2,948	2,198	48,613

Для масивів, відсортованих за спаданням, спостерігається незначне збільшення часу виконання, що вказує на певне зниження ефективності розбиття, однак істотної деградації не відбувається. Водночас для масивів з однаковими значеннями спостерігається принципово інший характер зростання часу виконання. Уже при середніх значеннях n помітне суттєве відхилення від поведінки інших типів даних, яке різко посилюється зі збільшенням розміру масиву. Отримані результати дозволяють чітко ідентифікувати випадки деградації алгоритму, які проявляються у різкому зростанні часу виконання для масивів з однаковими значеннями. Це пояснюється тим, що розбиття не забезпечує ефективного поділу масиву на підмасиви, що призводить до збільшення глибини рекурсії.

Для більш детального аналізу характеру зростання часу виконання алгоритму побудовано графік залежності від розміру масиву (рис. 1). При побудові використано логарифмічне представлення значень часу, отриманих у табл. 1.

У логарифмічному масштабі більш чітко проявляється різниця у швидкості зростання часу виконання. Графік наочно демонструє момент переходу до деградаційного режиму роботи

алгоритму. Для випадкових даних залежність має близький до лінійного характер, що відповідає оцінці $O(n\ log\ n)$.

Водночас для масивів з однаковими значеннями спостерігається значно більш інтенсивне зростання часу виконання, що свідчить про зміну характеру складності та наближення до найгіршого випадку $O(n^2)$.

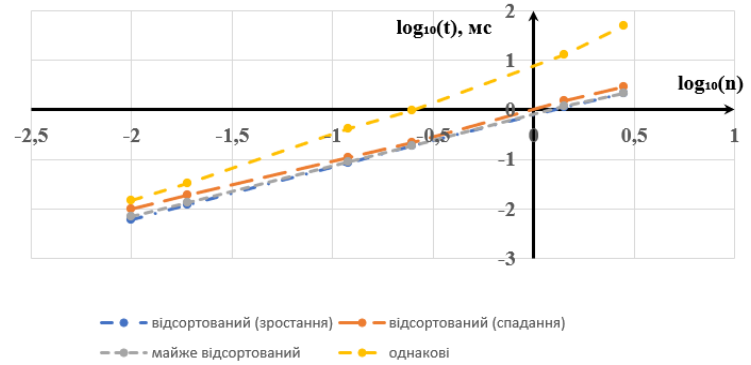


Рисунок 1. Залежність часу виконання Quick Sort від розміру масиву в логарифмічному масштабі

Висновки. У роботі проведено вивчення деградації алгоритму Quick Sort залежно від структури вхідних даних. Експериментальні результати показали, що характер зростання часу виконання суттєво залежить від структури масиву. Встановлено, що для випадкових, відсортованих та майже відсортованих масивів алгоритм демонструє стабільну поведінку, близьку до теоретичної оцінки $O(n\ log\ n)$, що свідчить про відносно збалансоване розбиття масиву.

Деградація алгоритму проявляється у випадках, коли розбиття масиву втрачає ефективність. У випадку масивів з однаковими значеннями спостерігається істотне погіршення часу виконання алгоритму. Це пояснюється неефективністю розбиття, яке не забезпечує поділу масиву на підмасиви достатньо малої розмірності, що призводить до збільшення глибини рекурсії та кількості операцій.

За допомогою логарифмічного представлення результатів встановлено, що для різних типів вхідних даних алгоритм

характеризується різною швидкістю зростання часу виконання. Для випадкових даних залежність має близький до лінійного характер у логарифмічному масштабі, тоді як для масивів з однаковими значеннями спостерігається значно крутіший ріст, що свідчить про наближення до квадратичної складності $O(n^2)$.

Таким чином, підтверджено, що структура вхідних даних визначає ефективність розбиття масиву та, відповідно, суттєво впливає на поведінку алгоритму Quick Sort. Отримані результати демонструють необхідність врахування особливостей даних при практичному застосуванні алгоритмів сортування.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні аналізу впливу характеристик вхідних даних на ефективність алгоритмів сортування. Зокрема, доцільним є дослідження впливу частки однакових елементів у масиві на поведінку алгоритму Quick Sort, що дозволить більш точно визначити умови виникнення деградації.

Окремий інтерес становить аналіз впливу вибору опорного елемента та різних схем розбиття на ефективність алгоритму за різних структур вхідних даних. Також перспективним є порівняння Quick Sort з іншими алгоритмами сортування в умовах несприятливих структур даних, що дозволить визначити доцільність їх використання в практичних задачах.

Список використаних джерел

1. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). *Introduction to algorithms* (3rd ed.). MIT Press.

2. Knuth, D. E. (1998). *The art of computer programming, Vol. 3: Sorting and searching* (2nd ed.). Addison-Wesley.

3. Sedgewick, R., & Wayne, K. (2011). *Algorithms* (4th ed.). Addison-Wesley.

4. Weiss, M. A. (2014). *Data structures and algorithm analysis in C++* (4th ed.). Pearson.

5. Stroustrup, B. (2014). *Programming: Principles and practice using C++* (2nd ed.). Addison-Wesley.

6. ISO C++ Foundation. (n.d.). *C++ reference*. URL: https://en.cppreference.com.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ LLM-ІНСТРУМЕНТІВ У ПРОЦЕСАХ ГЕНЕРАЦІЇ ТА РЕФАКТОРИНГУ КОДУ

Носик Євген Володимирович
Харківський національний університет радіоелектроніки, студент кафедри комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій, yevhen.nosyk@nure.ua

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF LLM TOOLS IN CODE GENERATION AND REFACTORING PROCESSES

Nosyk Yevhen Volodymyrovych
Kharkiv National University of Radio Electronics, student in the Department of Computer Modeling and Intelligent Technologies, yevhen.nosyk@nure.ua

The paper explores the impact of Large Language Models (LLMs), specifically GitHub Copilot and ChatGPT, on the software development lifecycle. It analyzes the efficiency of generative AI tools in automating routine code generation and refactoring. Key benefits and limitations concerning the quality and security of AI-generated code are identified, emphasizing the shift in developer roles towards architectural design.

Keywords: artificial intelligence, code generation, refactoring, LLM, software engineering.

Сучасна програмна інженерія переживає парадигмальний зсув, зумовлений стрімким розвитком великих мовних моделей (Large Language Models, LLM). Завдяки здатності розуміти контекст природної мови та синтаксис десятків мов програмування, інструменти на базі генеративного штучного інтелекту перетворилися з експериментальних концептів на щоденні робочі інструменти розробників. Інтеграція рішень, таких як GitHub Copilot, OpenAI ChatGPT, Anthropic Claude, безпосередньо в інтегровані середовища розробки (IDE) порушує нові дослідницькі питання щодо вимірювання їхньої реальної ефективності, впливу на якість програмних продуктів та трансформації ролі інженера. Метою цього дослідження є аналіз

поточного стану та ефективності застосування LLM-інструментів у ключових процесах створення програмного забезпечення: генерації нового коду, конфігуруванні середовищ та рефакторингу існуючих рішень.

Найбільший вплив генеративного штучного інтелекту сьогодні спостерігається на етапі написання шаблонного (boilerplate) коду та створення базової архітектури. Дослідження компанії GitHub (Microsoft) доводить, що використання GitHub Copilot дозволяє розробникам виконувати поставлені завдання на 55% швидше порівняно з контрольною групою, яка не використовувала ШІ [1]. У проєктах, де активований цей інструмент, ШІ генерує до 46% усього написаного коду.

Важливою перевагою LLM є їхня здатність працювати в режимі контекстного асистента. Наприклад, під час налаштування екосистеми проєкту, що включає інтеграцію систем управління завданнями (таких як Jira) із системами контролю версій (GitHub) та інструментами дизайну (Figma), використання ШІ дозволяє миттєво генерувати необхідні конфігураційні файли або скрипти автоматизації (CI/CD pipelines). У контексті об'єктно-орієнтованої розробки десктопних застосунків або системного програмного забезпечення на мові C# (зокрема, систем моніторингу чи антивірусних програм), LLM здатні ефективно генерувати базові класи, структури даних та обробники подій, спираючись на наданий текстовий опис функціоналу. Це зменшує когнітивне навантаження на програміста, якому більше не потрібно витрачати час на рутинний пошук інформації в документації. За даними опитувань профільного порталу DOU, понад 65% українських розробників вже інтегрували ШІ у свій щоденний робочий процес [2].

Окрім генерації коду з нуля, великі мовні моделі (особливо покоління GPT-4) демонструють високу ефективність у задачах рефакторингу – процесу покращення внутрішньої структури коду без зміни його зовнішньої поведінки. Аналітичний звіт McKinsey & Company [3] підтверджує, що використання генеративного ШІ для задач оптимізації алгоритмів та документування існуючого

коду дозволяє зменшити витрати часу на 20-50% залежно від складності системи. LLM здатні автоматично генерувати модульні тести (unit tests) для успадкованого (legacy) коду перед його зміною, що є критично важливим кроком для безпечного рефакторингу. Надання моделі функції з проханням "переписати з використанням сучасних патернів проєктування та принципів SOLID" часто дає результат, який успішно проходить етапи збірки (build) у Visual Studio та вимагає лише мінімальних логічних правок.

Незважаючи на високі показники продуктивності, повна автоматизація розробки наразі неможлива через низку критичних недоліків ШІ-інструментів. Дослідники з кібербезпеки зазначають, що LLM схильні генерувати синтаксично правильний, але семантично вразливий код [4]. Оскільки моделі навчаються на відкритих репозиторіях, вони можуть відтворювати загальновідомі вразливості архітектури. Крім того, залишається відкритою проблема "галюцинацій", коли ШІ вигадує неіснуючі бібліотеки, класи чи методи. Це часто призводить до помилок на етапі компіляції проєкту, і зекономлений на написанні коду час витрачається на складний дебагінг.

Додатковим критичним обмеженням є проблема "контекстного вікна": сучасні моделі все ще мають труднощі з аналізом великих монолітних баз коду, через що локально згенеровані рішення можуть конфліктувати з глобальною архітектурою проєкту. Неконтрольоване використання ШІ-генерації без ретельного коуд-рев'ю різко підвищує ризик накопичення технічного боргу, коли розробники інтегрують складні блоки коду, не до кінця розуміючи логіку їхньої роботи. Крім того, досі залишаються невирішеними юридичні питання щодо порушення авторського права на інтелектуальну власність та ризики витоку конфіденційних даних компаній через промпти користувачів.

Отже, впровадження LLM-інструментів у процеси розробки є незворотним етапом еволюції індустрії. Аналіз показує значне підвищення швидкості розробки (до 55%) та покращення

процесів рефакторингу. Однак використання GitHub Copilot чи ChatGPT не замінює інженера, а лише змінює його фокус від написання базового синтаксису до архітектурного проєктування та валідації рішень. У майбутньому конкурентну перевагу матимуть ті розробники, які опанують навички ефективного промпт-інжинірингу та глибокого коуд-рев'ю згенерованих алгоритмів.

Список використаних джерел

1. Kalliamvakou, E. (2022). *Research: quantifying GitHub Copilot's impact on developer productivity and happiness*. GitHub Blog. Retrieved from https://github.blog/news-insights/research/research-quantifying-github-copilots-impact-on-developer-productivity-and-happiness/

2. Аналітика DOU. (2024). *Як українські айтівці використовують штучний інтелект у роботі*. DOU. Retrieved from https://dou.ua/lenta/articles/use-of-ai-in-ukainian-it-2024/

3. McKinsey & Company. (2023). *Unleashing developer productivity with generative AI*. McKinsey Digital. Retrieved from https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/unleashing-developer-productivity-with-generative-ai

4. Pearce, H., Ahmad, B., Murphy, B., Considine, E., Karri, R., & Dolan-Gavitt, B. (2022). Asleep at the Keyboard? Assessing the Security of GitHub Copilot's Code Contributions. *2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, 754-768. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3610721

МЕТОДИКА ПОРІВНЯННЯ ПЛАТФОРМ СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ ТА AIOPS У DEVOPS

Пилипенко Даніїл Тарасович
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна, аспірант, dpyly.work@gmail.com

METHODOLOGY FOR COMPARING OBSERVABILITY AND AIOPS PLATFORMS IN DEVOPS

Pylypenko Daniil Tarasovych
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, PhD student, dpyly.work@gmail.com

The paper develops a methodology for comparing observability and AIOps platforms in DevOps in view of automated incident response. It defines four solution classes, comparison criteria, and integral scoring from public documentation, which ranks Dynatrace first, then Datadog and New Relic. Discussed gaps include explainable correlation, standardized response models, and linking SLO indicators to decisions.

Keywords: DevOps, observability, AIOps, incident management, automated remediation, monitoring, SLO.

У DevOps-середовищах із мікросервісами та хмарними компонентами посилюється навантаження на підтримку через складність діагностики, зростання інцидентів і розрив між наявністю телеметрії та відтворюваним замкненим циклом «виявлення, діагностика, рішення, дія». Без формалізованої моделі реагування важко стабільно скорочувати час локалізації та відновлення [1, 2]. Мета полягає в розробці методики порівняння платформ спостережуваності та AIOps у DevOps та в оцінці придатності ринкових рішень до автоматизованого реагування на інциденти.

У межах методики запропоновано класифікацію за чотирма

функціональними класами: платформи базової спостережуваності, системи інтелектуальної обробки подій (AIOps), засоби управління інцидентами та інструменти автоматизованого реагування на базі runbook automation. Визначено функціональні й організаційні критерії порівняння: телеметрія, кореляція, детекція аномалій, зниження шуму, аналіз першопричин, рівні сервісу, інтеграція з DevOps- і ITSM-процесами, розгортання й вартість. Порівняння виконано для корпоративних рішень на основі відкритої технічної документації та узгоджених шкал оцінювання.

За інтегральними оцінками лідирує Dynatrace (2.70), зокрема через модель Davis AI та автоматизацію детекції й кореляції; друге місце займає Datadog (2.40) завдяки операційному контуру реагування та автоматизації workflow; New Relic отримав нижчу оцінку (1.35) через обмеження причинної моделі, RCA та залежність від зовнішніх засобів incident management і автоматизації. Узагальнено підхід до замкненого циклу з семи рівнів: збір телеметрії, нормалізація та модель залежностей, детекція аномалій, кореляція в інциденти, RCA та оцінка впливу, керування процесом реагування, автоматизовані дії відновлення. Виявлено прогалини ринку: брак стандартизованих моделей автоматизованого реагування, недостатня пояснюваність кореляції та слабка інтеграція показників надійності сервісів із прийняттям рішень. Для стеків Grafana, Prometheus, Loki та Tempo зазвичай потрібні додаткові інтеграції для інтелектуальної кореляції й автоматизації реагування [3].

Запропоновану методику та критерії доцільно використовувати як методологічну основу вибору архітектури автоматизованого реагування; повний виклад з таблицями та графіками міститься в статті. Подальші дослідження рекомендовано спрямувати на формалізацію алгоритмів прийняття рішень і на інтеграцію показників SLO та SLA у

механізми AIOps.

Список використаних джерел

1. Sapsai O., Martsenyuk T., Partyka L. Automated incident response in cloud-based systems // Computer Systems and Networks. 2025. Vol. 7, No. 2. P. 179-194. Available at: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2025/nov/40848/vse-179-194.pdf

2. Manchana R. AI-Powered Observability: A Journey from Reactive to Proactive, Predictive, and Automated // International Journal of Science and Research (IJSR). 2024. Vol. 13, Issue 8. Available at: https://www.researchgate.net/publication/386284156

3. Faseeha U., Syed H. J., Samad F., Zehra S., Ahmed H. Observability in Microservices: An In-Depth Exploration of Frameworks, Challenges and Deployment Paradigms // IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 72011-72039. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3562125

4. Dynatrace. Davis AI [Electronic resource]. Available at: https://docs.dynatrace.com/docs/discover-dynatrace/platform/davis-ai

5. Datadog. Watchdog Root Cause Analysis (RCA) [Electronic resource]. Available at: https://docs.datadoghq.com/watchdog/rca/

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ЯКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОВІРЧОГО ЕЛІПСОЇДУ ДЛЯ НОРМАЛІЗОВАНИХ МЕТРИК RFC, CBO ТА WMC

Приходько С.Б.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, д.т.н., професор, sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua
Національний університет «Одеська політехніка», професор кафедри інженерії програмного забезпечення, д.т.н., професор, prykhodko.s.b@op.edu.ua

DETERMINING MEDIUM-QUALITY SOFTWARE USING A CONFIDENCE ELLIPSOID FOR NORMALIZED METRICS RFC, CBO, AND WMC

Prykhodko S.B.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Head of the Department of Software for Automated Systems, Dr.Sc. (Eng.), Professor, sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua
Odesa Polytechnic National University, Professor of the Software Engineering Department, Dr.Sc. (Eng.), Professor, prykhodko.s.b@op.edu.ua

To determine medium-quality software, we propose using a confidence ellipsoid for normalized metrics RFC, CBO, and WMC. An example of constructing the above ellipsoid to determine medium-quality software in Java is given.

Keywords: software quality, confidence ellipsoid, software metric, RFC, CBO, WMC.

Як відомо, створення якісного програмного забезпечення (ПЗ) – це одне з головних завдань індустрії його розробки. Тому проблема визначення якості ПЗ є важливою.

Хоча сьогодні відомі різноманітні методи та моделі для визначення якості ПЗ, все ще бракує ефективного методу

оцінювання загальної якості [1]. Про важливість проблеми оцінювання якості ПЗ свідчать також публікації останніх років [2-7]. Вищевказане вимагає, у тому числі, побудови як нових, так і удосконалення існуючих математичних моделей для визначення якості ПЗ.

В наш час для оцінювання якості ПЗ, у тому числі, застосовують метрики CK, включаючи RFC (Response for Class), CBO (Coupling Between Objects) та WMC (Weighted Methods per Class) на рівні програмної системи [4, 7].

Хоча сьогодні методи машинного навчання все більше використовують для оцінювання якості ПЗ [5], методи багатовимірного статистичного аналізу ще не повністю розкрили свій потенціал [3, 4, 7]. У [3] автори об'єднали множинну лінійну регресію та метод нечіткої комплексної оцінки для побудови алгоритму оцінювання якості. У [8] автори запропонували застосовувати метрики CK для класифікації якості ПЗ за трьома рівнями (ПЗ високої, середньої та низької якості) та навели точкові оцінки вибіркових середніх цих метрик для ПЗ, що розроблено мовами C++ та Java. Також у [8] було запропоновано лінійну регресію метрики RFC в залежності від метрик CBO та WMC. Але використання лінійної регресії може бути теоретично обґрунтовано лише у певних випадках, зокрема, коли розподіл відхилень точок даних від лінії регресії є гаусівським.

Тому в [4] для визначення якості ПЗ було запропоновано метод, заснований на довірчих інтервалах та інтервалах прогнозування нелінійної регресії для метрики RFC на рівні застосунку в залежності від метрик CBO та WMC. Однак метрики CBO і WMC, як і RFC, також слід розглядати як залежні змінні. Тому в [7] була запропонована модифікація зазначеного методу для оцінювання якості ПЗ. Ця модифікація базується на довірчих інтервалах і інтервалах прогнозування вже трьох нелінійних регресій для метрик RFC, CBO та WMC відповідно. При чому за [7] ПЗ середньої якості визначається у разі, якщо точка даних з координатами RFC, CBO та WMC для цього ПЗ буде знаходитися в області, яка обмежується поверхнями, що проходять через границі довірчих інтервалів вказаних трьох нелінійних регресій.

Підкреслимо, що таке визначення за [7] ПЗ середньої якості потребує побудови трьох відповідних нелінійних регресійних моделей. Крім того, при такому підході не враховується сумісна кореляція між метриками RFC, CBO та WMC. Тому, виходячи із зазначеного, в цій роботі для визначення ПЗ середньої якості пропонується застосовувати одну математичну модель, яка містить у собі коваріаційну матрицю, – це довірчий еліпсоїд для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC на рівні програмного застосунку. Тут, як і в [7], під нормалізованими метриками розуміють такі величини, розподіл яких є гаусівським. Використання саме нормалізованих метрик пов'язано з тим, що довірчий еліпсоїд може бути застосований до даних, багатовимірний розподіл яких є гаусівським, а розподіл метрик RFC, CBO та WMC, як правило, відхиляється від гаусівського. При побудові довірчого еліпсоїду рекомендується брати рівень значущості 0,05 та тестову статистику на основі квантилю F-розподілу. ПЗ вважається середньої якості, якщо точка даних з координатами нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC для цього ПЗ не виходить за границі довірчого еліпсоїду.

В роботі наведено приклад побудови довірчого еліпсоїду для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC для ПЗ, що розроблено мовою Java, за даними з [7]. При цьому, як і в [7], нормалізацію даних метрик RFC, CBO та WMC було здійснено за допомогою тривимірного перетворення Бокса – Кокса. У порівнянні з [7] було отримано кращі результати визначення ПЗ середньої якості. Програмним застосунком на Java середньої якості було визначено ПЗ зі значеннями метрик RFC, CBO та WMC, які дорівнюють 15,389, 11,129 та 17,634 відповідно. Ці значення значно блищи до компонентів вектору середніх з [7].

Список використаних джерел

1. Chen, C., Shoga, M., & Boehm, B. (2019). Exploring the dependency relationships between software qualities. *Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*: proceedings of the 2019 IEEE 19th International Conference (pp. 105-108). Sofia, Bulgaria. https://doi.org/10.1109/QRS-C.2019.00032.

2. Madaehoh, A., & Senivongse, T. (2022). OSS-AQM: An open-source software quality model for automated quality measurement. *Data and Software Engineering (ICoDSE)*: proceedings of the 2022 International Conference (pp. 126-131). Denpasar, Indonesia. https://doi.org/10.1109/ICoDSE56892.2022.9972135.

3. Gao C., Luo W., Wang J. et al. (2022). Software quality evaluation model based on multiple linear regression and fuzzy comprehensive evaluation method. *Dependable Systems and Their Applications (DSA)*: proceedings of the 2022 9th International Conference (pp. 383-389). Wulumuqi, China. https://doi.org/10.1109/DSA56465.2022.00058.

4. Prykhodko, S., & Prykhodko, N. (2022). A technique for detecting software quality based on the confidence and prediction intervals of nonlinear regression for RFC metric. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*: proceedings of the 2022 IEEE 17th International Conference (pp. 499-502). Lviv, Ukraine. https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000532.

5. Bombiri, O., Poda, P., & Ouedraogo, T.F. (2023). Application of machine learning in software quality: a Mini-review. *Natural and Engineering Sciences for Sahel's Sustainable Development (MNE3SD)*: proceedings of 2023 IEEE Multi-conference (pp. 1-7). Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. https://doi.org/10.1109/MNE3SD57078.2023.10079800.

6. Fizza, K., Banerjee, A., Jayaraman, P.P. et al. (2023). A survey on evaluating the quality of autonomic Internet of things applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1 (25), 567-590. https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3205377.

7. Prykhodko, S. (2024). Evaluating quality of software systems by the confidence and prediction intervals of regressions for RFC, CBO, and WMC metrics. *WSEAS Transactions on Systems*, 23, 322-330. https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.36.

8. Laing, V., & Coleman, C.J. (2001). Principal components of orthogonal object-oriented metrics. White paper analyzing results of NASA object-oriented data. SATC, NASA.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРОКАТУ ГАБАРИТНИХ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ

Піддубчак Данило Володимирович
Національний університет «Запорізька політехніка», студент групи КНТ-115м
Льовкін Валерій Миколайович
Національний університет «Запорізька політехніка», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів, vliovkin@gmail.com

SOFTWARE FOR RENTAL OF LARGE HOUSEHOLD APPLIANCES

Piddubchak Danylo
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, student
Lovkin Valerii
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, vliovkin@gmail.com

The paper analyses problems of rental of large household appliances. Appropriate tools were proposed and developed as a part of a webapplicaiton. Python-based webframework Django was applied. The developed software has reviewing, complaint systems together with basic functions of rental support. Whole companies as well as individual landlords are possible users of the software.

Keywords: large household appliances, rental, webapplication, software.

Швидкий зручний доступ до варіантів габаритних побутових приладів, які можуть бути надані в прокат людям, які того потребують, є важливим у форматі використання інформаційних технологій особливо в Україні в даний період у зв’язку з великою кількістю внутрішньо переміщених осіб. У той же час нерідко ця галузь на даний момент все ж знаходиться у доволі фрагментованому стані, коли або самі прилади доступні для прокату тільки офлайн, або виставляються у вигляді оголошень на загальних платформах, що не сприяє зручності

взаємодії.

У даній роботі розроблено програмне забезпечення, яке має задовольнити таку потребу, при чому надаючи можливість виставляти для прокату габаритні побутові прилади як окремим власникам, так і цілим організаціям. Розробку програмного забезпечення виконано за допомогою Python-вебфреймворку Django [1]. Створена програма підтримує в тому числі подобовий варіант прокату, таким чином збільшуючи універсальність застосування.

Програмне забезпечення має можливості підтримки оскарження замовлень прокату габаритних побутових приладів, для чого виділена окрема роль користувачів – менеджер. Саме до його відповідальності віднесено обробку таких замовлень.

Важливим елементом розробленої програми є наявність серед можливостей програми оцінювання прокату, що зазвичай не надається в подібних рішеннях, оскільки вони є представництвами окремих компаній-власників. У даному ж випадку прокат може здійснюватися від різних окремих власників, відповідно система оцінювання стає критично важливою. За відсутності такої системи не може бути сформована довіра до орендодавців клієнтами.

У відповідності з логікою використання вебфреймворку Django основні функціональні можливості програми реалізовані через створення відповідних представлень з визначенням необхідних шаблонів сторінок для кожної функціональної можливості.

У результаті системи оцінювання, оброблення скарг разом з базовими можливостями створення замовлень прокату, керування такими замовленнями, формування переліків з приладів для подальшого прокату за категоріями дозволяють використовувати розроблене програмне забезпечення на практиці.

Список використаних джерел

1. The web framework for perfectionists with deadlines | Django. URL: https://www.djangoproject.com/ (дата звернення: 13.05.2026).

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ СПІЛЬНОЇ РИБОЛОВЛІ

Пічко Герман Геннадійович
Національний університет «Запорізька політехніка», студент групи КНТ-125м
Льовкін Валерій Миколайович
Національний університет «Запорізька політехніка», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів, vliovkin@gmail.com

SOFTWARE FOR JOINT FISHING SUPPORT

Pichko Herman
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, student
Lovkin Valerii
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, vliovkin@gmail.com

Joint fishing requires planning of activities as well as searching for mates and creating new contacts. Traditional social networks can’t provide these possibilities appropriately. It is proposed to create specialized software to support the features. The developed webapplication is presented in the paper.

Keywords: fishing, webapplication, software, framework.

Пошук товаришів для спільної риболовлі є достатньо складним процесом, адже потребує врахування досвіду риболовлі, наявності спільних інтересів у риболовлі та часом і життєвих принципів, особливостей. Тому використовувати звичайні соціальні мережі для підтримки такого процесу складно. У підсумку такі контакти встановлюються радше особисто без використання програмного забезпечення.

Однак в сучасній реальності в Україні зокрема люди нерідко опиняються в ситуаціях, коли знайомство через знайомих не діє, оскільки коло знайомств через переміщення в межах країни або за її межі розпочинається знову. У таких випадках багатьом

любителям риболовлі потрібно знайти нових товаришів, а разом з ними і місце для риболовлі, що ускладнює процес. Маючи традиційні місця для риболовлі, це зробити простіше. Коли такої можливості немає, саме програмне забезпечення може надати основу для такого процесу.

Реалізуючи таку концепцію, було створено програмне забезпечення, націлене на підтримку спільної риболовлі. Для реалізації використано мову програмування Python, що дозволяє спростити процес розробки складних вебзастосунків за рахунок використання фреймворку Django [1], систему керування базами даних PostgreSQL.

Реалізація роботи з даними виконана на основі створення моделей в структурі програмного проєкту. Моделі виділені для засобів риболовлі, категорій цих засобів, а також підкатегорій, виробників, моделей засобів, категорій активностей, областей країни, водойм, видів риб, активностей, їх фотографій, користувачів, які є рибалками, типів водойм, видів риб, видів риб, яким віддає перевагу рибалка, фотографій рибалок, знайомств між рибалками, звітування за активностями з фотографіями, засобами риболовлі за ними, учасниками відповідних активностей, оцінювань активностей, коментарів до звітів, реакцій.

Програмне забезпечення, створене в роботі, дозволяє не тільки знаходити нових товаришів для спільної риболовлі, але і визначати поїздки для самої спільної риболовлі, стаючи учасниками таких поїздок, ділитися враженнями від риболовлі, коментувати досвід інших учасників. Усе це сприяє додатково взаємодії між користувачами, привертаючи більше уваги до програмного забезпечення, дозволяючи наповнювати її даними за рахунок виділення позитивного досвіду окремими учасниками активностей.

Список використаних джерел

1. Django FAQ. Django documentation. Django. URL: https://docs.djangoproject.com/en/5.2/faq/ (дата звернення: 13.05.2026).

МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ФІТНЕС-ОРІЄНТОВАНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ

Рижок Соломія Юріївна
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, бакалавр інженерії програмного забезпечення, s.ryzhok@lntu.edu.ua
Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, yuliapovstyana@ukr.net

MOBILE TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR MANAGING FITNESS-ORIENTED ACTIVITIES

Ryzhok Solomiya Yuriivna
Lutsk National Technical University, Higher Education Student, Bachelor of Software Engineering, s.ryzhok@lntu.edu.ua
Povstiana Yullia Slavomirivna
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, Department of Software Engineering, yuliapovstyana@ukr.net

The paper examines the role of mobile technologies in supporting and organizing users' fitness-oriented activities. The relevance of using mobile applications for workout planning, physical activity tracking, and increasing motivation for regular exercise is analyzed. The main advantages of mobile solutions, including accessibility, personalization, and ease of use, are identified.

Keywords: digital and mobile technologies, fitness-oriented activities, physical activity, mobile applications, workout planning, Flutter, Kotlin

В епоху стрімкого розвитку цифрових технологій мобільні пристрої стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Смартфони та мобільні застосунки активно використовуються не лише для комунікації чи отримання інформації, а й для організації навчання, роботи, дозвілля та підтримки здорового способу життя. Нині використання мобільних технологій у сфері фізичної

активності та фітнесу є особливо актуальним, оскільки сучасний ритм життя часто ускладнює дотримання регулярності тренувань, тому мобільні застосунки стають ефективним інструментом для моніторингу та підтримки фізичного стану.

Зростання популярності цифрових сервісів у сфері здоров'я та фітнесу пов'язане з потребою користувачів у засобах планування, контролю та моніторингу фізичної активності й фізіологічних показників. Використання мобільних застосунків спрощує процес організації тренувань, робить його більш доступним та адаптованим до індивідуальних потреб користувача. Сучасні цифрові рішення сприяють підвищенню мотивації до регулярних занять спортом шляхом використання нагадувань, систем досягнень та візуалізації результатів [1].

Мета роботи полягає в аналізі ролі мобільних технологій у підтримці та організації фітнес-орієнтованої діяльності користувачів, а також у визначенні основних переваг використання мобільних застосунків у сфері фізичної активності.

Розвиток цифрових технологій суттєво вплинув на підходи до організації тренувального процесу. Якщо раніше користувачі використовували паперові записи або стандартні програми тренувань, то сьогодні мобільні застосунки надають їм можливість формувати повністю персоналізовані програми фізичних навантажень, вести облік виконаних вправ та аналізувати свої результати у режимі реального часу [2]. Це дає можливість ефективно контролювати власну активність та коригувати навантаження відповідно до бажаних цілей.

Популярність мобільних технологій зумовлена їх глобальною доступністю, адже широке поширення смартфонів забезпечує користувачам постійний доступ до мобільних застосунків незалежно від часу та місця перебування. Завдяки цьому мобільні рішення стають зручним інструментом для підтримки фізичного стану [3] навіть за умов обмеженого часу або відсутності можливості відвідувати спортивні заклади.

Сучасні мобільні застосунки у сфері фітнесу поєднують функції планування тренувань, ведення статистики, моніторингу фізичних показників та нагадування про заплановану активність.

Крім того, значна увага приділяється персоналізації користувацького досвіду, де застосунки можуть враховувати рівень фізичної підготовки користувача, його цілі, частоту тренувань та інші індивідуальні параметри, що відчутно підвищує ефективність тренувального процесу.

Особливу роль мобільні технології відіграють у формуванні дисципліни та мотивації користувачів. Регулярні сповіщення, системи нагадувань, відображення статистики та досягнень дозволяють підтримувати зацікавленість у виконанні тренувань та сприяють формуванню корисних звичок. Візуалізація прогресу допомагає користувачам оцінювати результати власної діяльності, що позитивно впливає на рівень мотивації та регулярність фізичної активності.

Не менш важливою перевагою мобільних технологій є можливість інтеграції з іншими цифровими пристроями, зокрема смарт-годинниками та фітнес-браслетами. Інтеграції дозволяють автоматизувати процес збору інформації про фізичну активність користувача, частоту серцевих скорочень, кількість кроків та інші важливі фізичні і медичні показники. Використання цих даних забезпечує більш точний аналіз активності та дозволяє формувати індивідуальні рекомендації щодо тренувального процесу.

Для розробки сучасних мобільних рішень активно використовуються новітні програмні технології та інструменти. Нині стрімкої популярності набувають Flutter та Kotlin [4, 5], які забезпечують створення продуктивних, зручних та функціональних мобільних застосунків. Використання сучасних засобів розробки дозволяє підвищити якість користувацького інтерфейсу, оптимізувати роботу застосунків та забезпечити комфортну взаємодію користувача з системою.

Перспективи розвитку мобільних технологій у сфері фітнесу пов’язані з подальшим удосконаленням механізмів персоналізації та аналізу фізичної активності. Сьогодні активно розвиваються технології цифрового моніторингу здоров’я, автоматичного аналізу показників активності та інтеграції мобільних сервісів із wearable-пристроями. Це створює передумови для підвищення ефективності мобільних рішень та

розширення їх функціональних можливостей.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що мобільні технології є ефективним інструментом підтримки фізичної активності та організації фітнес-орієнтованої діяльності користувачів. Використання мобільних застосунків забезпечує зручність планування тренувань, моніторингу фізичних показників і контролю досягнутих результатів, що, своєю чергою, сприяє підвищенню мотивації та формуванню звичок до регулярної фізичної активності. Сучасні цифрові рішення мають значний потенціал для подальшого розвитку завдяки поєднанню доступності, персоналізації та інтеграції з іншими цифровими пристроями, впливаючи на підтримку здорового способу життя.

Список використаних джерел

1. Sousa Basto P., Ferreira P. Mobile applications, physical activity, and health promotion. BMC Health Services Research. 2025. Vol. 25, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s12913-025-12489-z (дата звернення: 03.05.2026).

2. Kalgotra P., Raja U., Sharda R. Growth in the development of health and fitness mobile apps amid COVID-19 pandemic. DIGITAL HEALTH. 2022. Vol. 8. P. 205520762211290. URL: https://doi.org/10.1177/20552076221129070 (дата звернення: 05.05.2026).

3. Barkley J. E., Lepp A., Glickman E. L. et al. The relationship between fitness app use and physical activity behavior is mediated by exercise identity. Computers in Human Behavior. 2020. Vol. 108. P. 106313. URL: https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106313 (дата звернення: 06.05.2026).

4. Flutter documentation. URL: https://docs.flutter.dev/ (дата звернення: 08.05.2026).

5. Kotlin Docs | Kotlin. URL: https://kotlinlang.org/docs/home.html (дата звернення: 08.05.2026).

ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНСТРУМЕНТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Романенко Микола Юрійович
Луцький національний технічний університет, аспірант спеціальності F2 Інженерія програмного забезпечення, my_romanenko@icloud.com
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lntu.com.ua

OVERVIEW AND COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF RISK MANAGEMENT AUTOMATION TOOLS

Romanenko Mykola Yuriiovych
Lutsk National Technical University, PhD student in Specialty F2 Software Engineering, my_romanenko@icloud.com
Yashchuk Andrii Anatoliiovych
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, a.yashchuk@lntu.com.ua

The article presents a review and comparative analysis of risk management automation tools, including GRC platforms, integration modules, and artificial intelligence–based tools, with the aim of assessing their impact on the efficiency and quality of risk management.

Keywords: risk management, automation, artificial intelligence.

У сучасних організаціях управління ризиками часто здійснюється через роботу з електронними таблицями, текстовими звітами та іншими розрізненими інструментами. За зростання обсягу даних і кількості взаємопов'язаних ризиків такий підхід ускладнює їх аналіз, коректну пріоритизацію та підтримку управлінських рішень.

За таких умов постає ключове питання: як забезпечити своєчасне й точне опрацювання великого обсягу даних про ризики, їх коректну пріоритизацію та підтримку управлінських

рішень без надмірних витрат часу і ресурсів? Відповідь на це питання все частіше пов'язують зі впровадженням автоматизованих рішень для управління ризиками.

Найбільш розповсюдженим класом систем для автоматизації процесу управління ризиками є системи класу GRC. GRC – це комплексні програмні рішення, призначені для корпоративного управління, управління ризиками та відповідністю. Такі системи підтримують повний життєвий цикл управління ризиками – від ідентифікації та оцінювання, до моніторингу контролів та звітності. Прикладами таких рішень є LogicManager [1], SAP GRC [2] та багато інших.

Перспективним напрямом розвитку управління ризиками є застосування платформ автоматизації робочих процесів [3], наприклад N8N та Zapier, у поєднанні з інструментами великих мовних моделей (LLM). Такі платформи дозволяють оркеструвати процеси збору, оброблення та аналізу інформації щодо ризиків шляхом інтеграції різнорідних джерел даних, аналітичних модулів і систем підтримки управлінських рішень. Використання LLM розширює можливості класичних підходів до управління ризиками. Мовні моделі можуть застосовуватися для ідентифікації ризиків на основі неструктурованих даних, пошуку актуальних загроз, генерування сценаріїв реалізації ризиків і формування рекомендацій щодо заходів їх оброблення.

Водночас ефективність таких рішень критично залежить від якості налаштування інструментів і джерел даних. Оскільки LLM працюють на основі наданого контексту, використання загальних або неконтрольованих відкритих джерел підвищує ризик «галюцинацій», що може негативно впливати на результати оцінки ризиків і управлінські рішення. Для мінімізації цього ризику доцільним є застосування технології Retrieval-Augmented Generation (RAG), яка поєднує LLM з отримуванням інформації з перевірених внутрішніх джерел організації. Використання RAG підвищує точність і надійність відповідей мовних моделей за рахунок збагачення їх достовірним контекстом [4].

Альтернативним підходом до автоматизації управління ризиками є впровадження відповідних інструментів у вже наявні корпоративні системи та середовища – такі як ERP (Enterprise

Resource Planning), системи управління проєктами, середовища збору звернень користувачів тощо. Замість впровадження окремої платформи ризик менеджмент інтегрується безпосередньо в операційні та управлінські процеси за допомогою спеціалізованих модулів або плагінів. Прикладом є Oracle Fusion Cloud Risk Management, інтегрований до ERP платформи Oracle Cloud, який реалізує автоматизовані контролі доступу, принципи розподілу обов'язків, моніторинг транзакцій та виявлення аномалій на основі AI моделей, що спрощує дотримання регуляторних вимог [5].

Порівняння ручних і автоматизованих підходів до управління ризиками наведено в таблиці 1 [5-8].

Табл. 1. Порівняння ручних і автоматизованих підходів до управління ризиками

Критерій	Ручні підходи	Автоматизовані підходи
Швидкість та актуальність даних	Періодичне оновлення інформації, значні часові витрати на агрегацію даних	Централізоване зберігання та оновлення в реальному часі, автоматичне відображення змін
Масштабованість	Вимагають значних ресурсів, складно масштабуються	Підтримують швидке масштабування
Якість аналізу та прогнозування	Суб'єктивна оцінка, відсутність аналізу динаміки ризиків	Аналіз історичних даних, предиктивна аналітика та ML для виявлення трендів і прогнозування
Вартість володіння	Низький поріг входження, але значні приховані витрати (трудомісткість, людські помилки)	Потребують початкових інвестицій, але забезпечують ROI за рахунок підвищення ефективності та зниження ризиків

Проведений аналіз показує, що автоматизовані рішення управління ризиками забезпечують вищу швидкість опрацювання

даних, кращу масштабованість і розширені аналітичні можливості порівняно з ручними підходами. Їх впровадження дозволяє підвищити ефективність управління ризиками та забезпечити більш обґрунтовану підтримку управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. LogicManager Risk Management Solutions. LogicManager. URL: https://www.logicmanager.com/solutions/risk-management/ (дата звернення: 04.05.2026).

2. SAP Governance, Risk and Compliance. SAP Ukraine. URL: https://www.sap.com/ukraine/products/financial-management/grc.html (дата звернення: 04.05.2026).

3. A comprehensive review of the significance of low-code automation in risk management for banks. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. URL: https://ijircst.org/DOC/8-a-comprehensive-review-of-the-significance-of-low-code-automation-in-risk-management-for-banks.pdf (дата звернення: 04.05.2026).

4. Huang Y., Huang J. X. The Survey of Retrieval-Augmented Text Generation in Large Language Models. York University, Canada. URL: https://arxiv.org/pdf/2404.10981 (дата звернення: 04.05.2026).

5. Oracle Fusion Cloud Risk Management and Compliance. *Oracle*, 2023. URL: https://www.oracle.com/erp/risk-management (дата звернення: 20.01.2026).

6. Manual vs. automated risk assessments: Which one is right for you? *WolfPAC*, 2022. URL: https://www.wolfpacsolutions.com/resources/articles/manual-vs-automated-risk-assessments/ (дата звернення: 20.01.2026).

7. Manual vs automated risk management: what you need to know. *Centraleyes*. URL: https://www.centraleyes.com/manual-vs-automated-risk-management/ (дата звернення: 22.01.2026).

8. Why prescriptive & predictive analytics in risk management. *Riskonnect*, 2023. URL: https://riskonnect.com/reporting-analytics/why-prescriptive-predictive-analytics-in-risk-management/ (дата звернення: 22.01.2026).

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ОРЕНДИ М'ЯКИХ МЕБЛІВ

Романік Данило Андрійович
Національний університет «Запорізька політехніка», студент групи КНТ-115м
Льовкін Валерій Миколайович
Національний університет «Запорізька політехніка», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних засобів, vliovkin@gmail.com

DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO SUPPORT RENTAL OF UPHOLSTERED FURNITURE

Romanik Danylo
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", student
Lovkin Valerii
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", PhD, Associate professor, Associate professor of Software Tools Department, vliovkin@gmail.com

The process of upholstered furniture rental needs its features to be taken into account when software for its support is developed. These features include structuring elements by rooms, furniture types. The developed software structures selection process in such a way.

Keywords: upholstered furniture, furniture set, software, framework.

Оренда м'яких меблів є важливим і доволі кропітким процесом, що потребує особливої організації. Це пов'язано з тим, що м'які меблі можуть обиратися для цілої квартири, відповідно потрібно враховувати їх розміщення в конкретних кімнатах, окрім того вони мають враховувати певний стиль, до того ж мають відповідати певним позиціям за типами, щоб сформувати цілий ансамбль. Це призводить до того, що використання звичайних оголошень, в яких може бути виписано цілий ряд пропонованих для оренди м'яких меблів, щонайменше не є зручним і не сприяє подальшій обробці.

Відповідаючи на цю потребу, в даній роботі було запропоновано розробку програмного забезпечення, націленого на підтримку оренди м'яких меблів. Відповідно власники можуть формувати оголошення, включаючи до нього структуру комплектів м'яких меблів, визначаючи відповідно окремі предмети у комплекті. Кожен такий предмет можна зберегти в своєму власному комплекті, який формується для розгляду. Конкретні варіанти м'яких меблів структуруються при цьому за типом кімнати, а далі за типом меблів. Це дозволяє визначити структуру самого житла, а тоді за кожною складовою визначити, які саме предмети м'яких меблів потрібні, а за кожним предметом визначати кандидатури для вибору на основі тих варіантів, які були знайдені в програмі. Відповідно таким чином всі кандидатури структуруються, що полегшує подальшу обробку та вибір варіантів.

Виконавши вибір, користувач може в програмі сформувати замовлення на оренду м'яких меблів, а власник вже забезпечується засобами керування такими замовленнями. Усі ці функціональні можливості були не тільки запроєктовані в роботі на основі застосування фреймворку Django та патерну Model-View-Template [1], покладеного в його основу, але також і реалізовані та протестовані.

Серед моделей програми було реалізовано моделі комплектів, предметів м'яких меблів та їх фотографій, матеріалів для виготовлення, кімнат, виробників, заявок на оренду зі своїм складом, станів заявок, користувачів, оцінювання орендарів, предметів, комплектів м'яких меблів, комплектів м'яких меблів на розгляді у користувача. Для реалізації кожного сценарію взаємодії з програмою користувача, включаючи неавторизованого користувача, орендаря та орендодавця, виділено окремо створене представлення та визначено шаблон вебсторінки для відображення результатів роботи.

Список використаних джерел

1. Django Project MVT Structure. URL: https://www.geeksforgeeks.org/python/django-project-mvt-structure/ (дата звернення: 13.05.2026).

ВЕБЗАСТОСУНКИ ЯК ЗАСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Савлук Максим Олександрович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, бакалавр інженерії програмного забезпечення, mk.savluk@lntu.edu.ua
Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, yuliapovstyana@ukr.net

WEB APPLICATIONS AS A MEANS OF PROVIDING REAL-TIME DIGITAL COMMUNICATION

Savluk Maksym Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, higher education student, Bachelor of Software Engineering, mk.savluk@lntu.edu.ua
Povstiana Yullia Slavomirivna
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, Department of Software Engineering, yuliapovstyana@ukr.net

In the modern digital environment, web applications for messaging are an important means of providing efficient communication between users. The paper examines the features of using web technologies for organizing real-time messaging, identifies the advantages of web applications in the field of digital interaction, and analyzes the main approaches to implementing modern communication systems.

Keywords: web application, digital communication, messaging, web technologies, real-time communication, Node.js, React.

У сучасному інформаційному суспільстві цифрова комунікація є одним із найважливіших елементів повсякденного життя людини. Активний розвиток мережі Інтернет, поява великої кількості цифрових сервісів та поширення мобільних пристроїв суттєво змінили способи взаємодії між людьми. Сьогодні обмін інформацією здійснюється переважно за допомогою цифрових

платформ, які забезпечують швидку передачу повідомлень, постійний доступ до сервісів та можливість взаємодії незалежно від географічного розташування. Особливо актуальними засоби цифрової комунікації стали під час розвитку дистанційної роботи, онлайн-навчання, електронної комерції та соціальних мереж, де оперативність передачі інформації відіграє важливе значення [1].

Метою роботи є аналіз особливостей використання вебзастосунків для забезпечення цифрової комунікації в режимі реального часу та визначення переваг сучасних вебтехнологій для реалізації систем обміну повідомленнями.

Одним із найпоширеніших інструментів цифрової взаємодії стали вебзастосунки для обміну повідомленнями. Популярність таких рішень зумовлена їх доступністю, простотою використання та можливістю комунікації в режимі реального часу [2]. На відміну від традиційних програмних засобів, вебзастосунки не потребують встановлення та можуть використовуватися через браузер, що спрощує доступ до сервісів і дозволяє користувачам взаємодіяти між собою з різних пристроїв та платформ.

Сучасна цифрова комунікація характеризується високою швидкістю передачі даних, інтерактивністю та можливістю одночасної взаємодії великої кількості користувачів. Важливою особливістю сучасних вебзастосунків є підтримка комунікації в режимі реального часу, що забезпечує миттєву передачу повідомлень між учасниками чатів. Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність спілкування, скоротити затримки передачі інформації та покращити користувацький досвід. Крім текстових повідомлень, сучасні системи підтримують передачу мультимедійних даних, зокрема зображень, відеофайлів та аудіо.

Вебзастосунки мають низку переваг порівняно з традиційними програмними рішеннями. Однією з ключових переваг є кросплатформеність, оскільки доступ до функціоналу системи може здійснюватися через будь-який сучасний браузер незалежно від операційної системи пристрою користувача. Крім того, вебзастосунки забезпечують централізоване зберігання даних і спрощують процес оновлення програмного забезпечення, адже користувачам не потрібно постійно встановлювати нові

версії програми.

Для забезпечення цифрової комунікації у вебзастосунках використовуються сучасні вебтехнології та підходи до організації клієнт-серверної взаємодії. Традиційні методи передачі даних на основі HTTP-запитів не забезпечують швидкого обміну інформацією в режимі реального часу, тому для реалізації систем миттєвого обміну повідомленнями широко застосовуються технології постійного з'єднання між клієнтом і сервером. Одним із найефективніших рішень є технологія WebSocket [3], яка забезпечує двосторонню передачу даних між клієнтом і сервером без потреби постійного оновлення сторінки або надсилання великої кількості повторних HTTP-запитів.

Також серед сучасних технологій розробки вебзастосунків важливу роль відіграють Node.js та React. Використання Node.js дозволяє організувати ефективну асинхронну обробку запитів та підтримувати роботу великої кількості одночасних користувацьких підключень. Завдяки неблокуючій моделі виконання така технологія є доцільною для створення систем цифрової комунікації та сервісів обміну повідомленнями [4]. Бібліотека React в свою чергу забезпечує створення динамічного користувацького інтерфейсу та дозволяє оперативно оновлювати інформацію на сторінці без її повного перезавантаження. Це позитивно впливає на швидкість роботи вебзастосунку та зручність взаємодії користувача із системою [5].

Використання сучасних технологій сприяє підвищенню продуктивності та гнучкості цифрових сервісів. Завдяки цьому системи обміну повідомленнями можуть підтримувати групові чати, сповіщення, передачу файлів, відеозв'язок та інші функції, необхідні для забезпечення зручної взаємодії між користувачами. Крім того, сучасні вебзастосунки можуть інтегруватися з хмарними сервісами та системами автентифікації, що розширює можливості та сценарії їх практичного використання.

Вебзастосунки для обміну повідомленнями є ефективними засобами забезпечення цифрової комунікації в режимі реального часу. Використання сучасних вебтехнологій, зокрема WebSocket, Node.js та React, дозволяє створювати продуктивні та

масштабовані системи взаємодії між користувачами. Подальший розвиток таких рішень пов'язаний із підвищенням рівня безпеки даних, оптимізацією продуктивності та розширенням функціональних можливостей застосунків для цифрової комунікації.

У результаті проведеного аналізу визначено основні переваги використання вебзастосунків для забезпечення цифрової взаємодії в режимі реального часу та обґрунтовано доцільність використання сучасних вебтехнологій для реалізації систем обміну повідомленнями.

Список використаних джерел

1. Rosič J. et al. Positive digital communication among youth: The development and validation of the digital flourishing scale for adolescents. Frontiers in Digital Health. 2022. Vol. 4. URL: https://doi.org/10.3389/fdgth.2022.975557 (дата звернення: 02.05.2026).

2. Kaçar G. Y. The Role of Online Communication Platforms in Maintaining Social Connectedness When Face-to-face Communication is Restricted. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 2023. URL: https://doi.org/10.52642/susbed.1290299 (дата звернення: 04.05.2026).

3. WebSocket API (WebSockets) - Web APIs | MDN. MDN Web Docs. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API (дата звернення: 06.05.2026).

4. Node.js Documentation. Node.js – Run JavaScript Everywhere. URL: https://nodejs.org/docs/latest/api/ (дата звернення: 07.05.2026).

5. React. React. URL: https://react.dev/ (дата звернення: 09.05.2026).

РОЗРОБКА МОДУЛЬНОЇ ІНТЕГРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ TELEGRAM-БОТА З AI ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ З КОРПОРАТИВНИМИ СЕРВІСАМИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ВИКОРИСТОВУЮЧИ PYTHON

Свиржевський Максим Анатолійович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня спеціальності інженерія програмного забезпечення, svyrzhevskiy.m2412@lntu.edu.ua
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPING A PYTHON-BASED MODULAR INTEGRATION AI TELEGRAM BOT FOR CORPORATE SERVICES AND BUSINESS PROCESS AUTOMATION

Svyrzhevskyi Maksym Anatoliiovych
Lutsk National Technical University, bachelor's degree student in Software Engineering, svyrzhevskiy.m2412@lntu.edu.ua
Yashchuk Andrii Anatoliiovych
Lutsk National Technical University, Associate Professor at the Department of Software Engineering, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

The development of an intelligent Telegram bot for automating work processes is presented. The system combines webhook-based message processing, intent recognition using a large language model, workflow execution, voice message transcription, and integrations with external services such as CRM, Gmail, Google Calendar, Jira, and Worksection. The proposed modular architecture enables extension through new sources and workflows, while Redis-based state storage supports contextual interaction.

Keywords: Telegram bot, artificial intelligence, workflow automation, API integration, CRM, large language model.

У сучасних умовах цифрової трансформації організації дедалі частіше потребують інструментів, які дають змогу швидко

обробляти повідомлення, створювати задачі, отримувати інформацію з робочих сервісів і підтримувати комунікацію без переходу між багатьма окремими системами. Особливо актуальними є рішення на базі месенджерів, оскільки вони мають низький поріг входу для користувача та забезпечують оперативний доступ до функцій автоматизації.

Telegram є зручною платформою для реалізації таких рішень завдяки відкритому Bot API, підтримці webhook-механізму, роботі з текстовими й голосовими повідомленнями та можливості інтеграції з зовнішніми сервісами [1]. У межах розробленого проєкту створено Telegram-бота, який приймає запити користувачів, визначає їхній намір, запускає відповідні сценарії обробки та повертає результат у звичному діалоговому форматі.

Програмна реалізація побудована мовою Python із використанням асинхронного підходу. Для взаємодії з Telegram застосовано бібліотеку aiogram, що підтримує сучасну модель диспетчеризації повідомлень і зручну роботу з обробниками подій [2]. HTTP-рівень системи реалізовано на базі aiohttp, що дає змогу реєструвати webhook-адреси для різних джерел даних і обробляти запити без блокування виконання [3].

Ключовою особливістю системи є модульна архітектура, у якій джерела повідомлень та бізнес-сценарії відокремлені одне від одного. У проєкті передбачено джерела для Telegram, API-запитів, Jira, Worksection. Кожне джерело реєструє власний endpoint, а подальша обробка делегується workflow-рушію, який визначає потрібний сценарій відповідно до змісту повідомлення.

Для розпізнавання намірів користувача та підготовки структурованих даних використано AI-агентів на базі Gemini. Gemini API надає доступ до генеративних моделей і може застосовуватись для задач аналізу тексту, формування відповідей і виділення параметрів із природномовних запитів [4]. У розробленій системі це дає змогу перетворити повідомлення користувача на конкретну дію: створення задачі, перегляд списку задач, отримання листів або подій календаря.

Окрему увагу приділено підтримці контекстної взаємодії.

Якщо користувач відповідає на повідомлення бота, система відновлює попередній стан діалогу та може продовжити виконання відповідного сценарію. Для цього використовується Redis, який доцільний для швидкого зберігання тимчасових структур даних, станів і кешованої інформації [5]. Такий підхід підвищує природність діалогу й дозволяє реалізувати багатокрокові сценарії без втрати контексту.

Функціональність бота охоплює створення задач у GooseCRM, отримання списку задач за користувачем і статусом, перегляд листів Gmail за вказану дату, отримання подій Google Calendar, а також обробку голосових повідомлень. Інтеграція з Gmail API та Google Calendar API забезпечує доступ до робочих повідомлень і подій календаря через офіційні механізми авторизації OAuth та відповідні REST-методи [6, 7].

На рис. 1 подано узагальнену архітектуру розробленої системи. Вона демонструє рух запиту від джерела повідомлення до workflow-рушія, взаємодію з AI-агентами, зовнішніми сервісами та підсистемою зберігання стану.

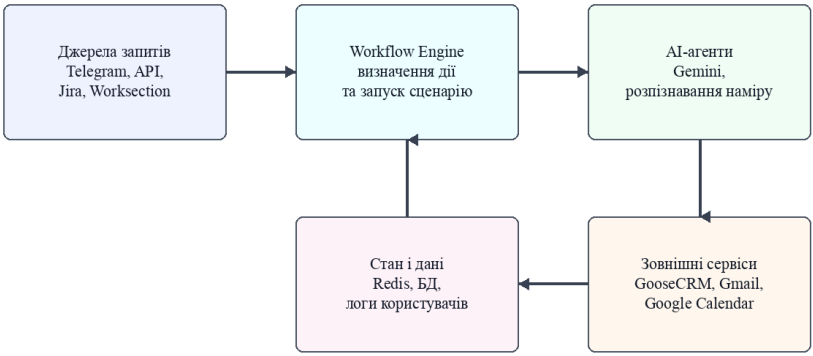


Рисунок 1. Узагальнена архітектура Telegram-бота

Важливою перевагою запропонованого рішення є можливість розширення. Додавання нового джерела або workflow не потребує зміни всієї системи: достатньо реалізувати окремий клас, зареєструвати його в налаштуваннях і описати очікуваний формат даних. Це спрощує супровід програмного продукту та зменшує ризик помилок під час подальшого розвитку.

Запропонована система також враховує питання контролю

доступу та надійності. У Telegram-джерелі передбачено перевірку схвалення користувача, логування запитів, обробку помилок без повторного надсилання webhook-подій і перевірку стану підключення до бази даних. Це робить застосунок придатним не лише для демонстраційного використання, а й для практичного впровадження у робочих командах.

Отже, розробка інтелектуального Telegram-бота для автоматизації робочих процесів є актуальним і практично значущим завданням. Реалізований проєкт поєднує можливості месенджера, генеративного штучного інтелекту, workflow-підходу та зовнішніх API. Така архітектура скорочує час виконання типових дій, централізує доступ до робочих сервісів і створює основу для подальшого масштабування системи.

Список використаних джерел

1. Telegram Bot API. Telegram APIs. URL: https://core.telegram.org/bots/api (дата звернення: 03.05.2026).

2. Welcome to aiogram's documentation. aiogram documentation. URL: https://docs.aiogram.dev/en/v3.15.0/ (date of access: 03.05.2026).

3. Server. aiohttp documentation. URL: https://docs.aiohttp.org/en/stable/web.html (date of access: 03.05.2026).

4. Gemini API reference. Google AI for Developers. URL: https://ai.google.dev/gemini-api/docs/api-overview (date of access: 03.05.2026).

5. Redis Open Source. Redis Documentation. URL: https://redis.io/docs/latest/get-started/ (date of access: 03.05.2026).

6. Method: users.messages.list. Gmail API. Google for Developers. URL: https://developers.google.com/workspace/gmail/api/reference/rest/v1/users.messages/list (date of access: 03.05.2026).

7. Events. Google Calendar API. Google for Developers. URL: https://developers.google.com/workspace/calendar/api/v3/reference/events (date of access: 03.05.2026).

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБ У ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ АПТЕК

Тарновецька Ольга
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
o.tarnovetska@chnu.edu.ua
Дмитращук Кристина
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
k.dmytraschuk@chnu.edu.ua

ANALYSIS OF DEMAND FORECASTING MODELS IN PHARMACEUTICAL PRODUCTION OF PHARMACY

Olha Tarnovetska
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor
of the Department of Software of Computer Systems,
o.tarnovetska@chnu.edu.ua
Krystyna Dmytrashchuk
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Assistant of the Department of Software of Computer Systems,
k.dmytraschuk@chnu.edu.ua

The paper investigates forecasting models for optimizing inventory planning in the pharmaceutical sector. Their effectiveness was compared using the MAE, RMSE, and MAPE metrics, and the most accurate model for forecasting demand for components was identified. A system integrating demand forecasting with automated cost accounting and inventory replenishment control was developed.

Keywords: forecast-based strategy, inventory management, MAE, RMSE, MAPE.

У сучасних умовах розвитку фармацевтичної галузі особливої актуальності набуває проблема ефективного

прогнозування потреб у лікарських засобах та супутній продукції. Неправильне планування обсягів виробництва й постачання може призводити до дефіциту препаратів, фінансових втрат, надлишкового зберігання продукції та погіршення якості обслуговування населення. Зростання кількості фармацевтичних товарів, сезонні коливання попиту та зміни споживчих потреб вимагають застосування сучасних моделей прогнозування, здатних забезпечити точність і адаптивність управлінських рішень. Саме тому дослідження моделей прогнозування потреб у фармацевтичному виробництві аптеки є важливим напрямом удосконалення логістичних і виробничих процесів у сфері охорони здоров'я.

Метою дослідження є аналіз сучасних моделей прогнозування потреб у фармацевтичному виробництві аптеки, визначення їх переваг і недоліків, а також оцінка можливостей застосування методів прогнозування для оптимізації процесів управління запасами та виробництвом лікарських засобів.

У роботі використано методи аналізу та узагальнення наукових джерел, статистичні методи обробки даних, методи прогнозування часових рядів, а також порівняльний аналіз моделей прогнозування. Для оцінки ефективності прогнозування розглянуто традиційні статистичні підходи та сучасні методи машинного навчання.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що прогнозування потреб у фармацевтичному виробництві є одним із ключових елементів ефективного функціонування аптечних закладів. Найбільш поширеними методами прогнозування є метод ковзного середнього, експоненціальне згладжування, регресійний аналіз та моделі часових рядів. Дані підходи дозволяють враховувати сезонність попиту, зміни ринку та динаміку споживання лікарських засобів.

Визначено, що традиційні статистичні методи є ефективними для короткострокового прогнозування за наявності стабільних історичних даних. Проте в умовах різких змін попиту їх точність знижується. У зв'язку з цим значну увагу приділено використанню методів машинного навчання, зокрема штучних

нейронних мереж та алгоритмів класифікації. Такі моделі здатні аналізувати великі обсяги інформації та виявляти приховані закономірності у поведінці споживачів.

Дослідження показало, що використання сучасних моделей прогнозування дозволяє зменшити ризик дефіциту лікарських засобів, оптимізувати складські запаси та скоротити витрати на зберігання продукції. Крім того, автоматизація процесів прогнозування сприяє підвищенню швидкості прийняття управлінських рішень і покращенню якості обслуговування пацієнтів.

Отже, застосування моделей прогнозування потреб у фармацевтичному виробництві аптеки є важливим інструментом підвищення ефективності діяльності фармацевтичних підприємств. Традиційні статистичні методи забезпечують достатню точність прогнозування в умовах стабільного попиту, тоді як сучасні методи машинного навчання дозволяють враховувати складні фактори та адаптуватися до змін ринку. Використання комбінованих підходів до прогнозування сприяє оптимізації запасів, зменшенню фінансових втрат та підвищенню рівня забезпечення населення лікарськими засобами. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для фармацевтичного виробництва та аптечних мереж.

Список використаних джерел

1. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.
2. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts. Retrieved from OTexts Forecasting: Principles and Practice
3. Oracle. (2024). *Java Platform, Standard Edition Documentation*. Retrieved from Java SE Documentation

РЕРАНЖУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІЗУАЛЬНОГО ПОШУКУ ТОВАРІВ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОЇ ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНОЇ ПОДІБНОСТІ ТА КІЛЬКОСТІ СПІВПАДІНЬ

Тиский Християн
Луцький національний технічний університет, аспірант, кафедра інженерії програмного забезпечення, kristiantyskyi@gmail.com

RERANKING OF VISUAL PRODUCT SEARCH RESULTS BASED ON A COMBINED SCORE OF VISUAL SIMILARITY AND MATCH COUNT

Khrystyian Tyskyi
Lutsk National Technical University, PhD student, Department of Software Engineering, kristiantyskyi@gmail.com

This paper proposes a reranking method for visual product search results based on a combined score of visual similarity and the number of matches per product. The method addresses three practical issues of embedding-based image retrieval: duplication of products represented by multiple catalogue photos, random visual similarity due to irrelevant features such as background or lighting, and statistical bias toward products with larger image sets. The reranking is formalized as a weighted sum $Score(p) = \alpha \cdot \hat{S}max(p) + \beta \cdot \hat{C}(p)$ *with min-max normalization of both components, with an alternative logarithmic bonus rule for percentage-based relevance scoring. The proposed approach mitigates duplication of similar items in Top-K results, suppresses random matches caused by irrelevant visual features, and partially compensates for the statistical bias of products with larger image sets, providing a robust ranking layer for embedding-based retrieval pipelines in the fashion domain.*

Keywords: visual product search, image retrieval, reranking, embedding vectors, combined score, visual similarity, e-commerce.

Системи інтелектуального візуального пошуку товарів за зображенням, побудовані на основі глибинних нейронних мереж типу «трансформер» з контрастивним навчанням (CLIP, SigLIP,

Fashion CLIP), є важливим компонентом сучасних e-commerce платформ та інструментом підвищення якості обслуговування у роздрібній торгівлі. Загальна архітектура таких систем передбачає генерацію embedding-векторів вхідного зображення, пошук Top-K найближчих векторів у векторній базі даних за метрикою косинусної подібності або скалярного добутку, а потім повернення відповідного списку товарів користувачу. Водночас при практичному впровадженні таких систем виникає ряд проблем, що знижують якість релевантності результатів пошуку, зокрема:

1. Множинність каталожних зображень одного товару. Один і той самий товар (наприклад, модель сукні) може бути представлений у каталозі декількома фотографіями у різних кольорах, ракурсах та умовах зйомки, що призводить до дублювання товару у Top-K результатів пошуку та зменшення розмаїття каталогу, що повертається користувачу.

2. Випадкова подібність окремого зображення. Високе значення метрики подібності для одного зображення товару може бути наслідком випадкового візуального збігу за нерелевантними ознаками (фон, освітлення, поза), а не справжньою системною подібністю модельного ряду.

3. Статистична нерівність товарів за кількістю зображень. Товари, для яких у каталозі представлено більшу кількість фотографій, мають вищу імовірність потрапляння хоча б одного зображення у Top-K, незалежно від реальної релевантності, що створює зміщення (bias) результатів ранжування.

4. Потреба у поєднанні візуальної подібності з бізнес-факторами. Окрім візуальної відстані у просторі embedding, релевантність товару у комерційному контексті залежить від його статусу (active, discontinued), наявності на складі, ціни та інших чинників, що мають враховуватися у фінальному ранжуванні.

У рамках дослідження запропоновано конвеєр візуального пошуку та рекомендацій, що формально визначається як композиція функцій $R(q) = \text{rank} \circ \text{aggregate} \circ \text{search} \circ \text{embed} \circ \text{preprocess}(q)$, де preprocess - попередня обробка зображення з

видаленням фону; embed - генерація embedding-вектора через модель FashionSigLIP; search - пошук Top-50 найближчих векторів у керованому векторному індексі (Google Vertex AI Vector Search) за метрикою DOT_PRODUCT_DISTANCE; aggregate - агрегація результатів на рівні товарів за ідентифікатором; rank - фінальне реранжування за комбінованою оцінкою. Завершальний етап rank є ключовим елементом, що компенсує перелічені вище проблеми та підвищує практичну якість пошуку.

Нехай $R_{50} = \{(i_j, s_j)\}$ - множина з 50 найближчих зображень з оцінками подібності, отриманими векторним пошуком. Для кожного унікального товару p_k, що зустрічається у результатах, обчислюються дві агреговані метрики: максимальна оцінка подібності $S_{max}(p_k) = \max\{s_j \mid \varphi(i_j) = p_k\}$ та кількість співпадінь $C(p_k) = |\{j \mid \varphi(i_j) = p_k\}|$, де φ - функція проекції ідентифікатора зображення на ідентифікатор товару. Фінальна оцінка товару обчислюється як зважена комбінація нормалізованих показників подібності та кількості співпадінь: $\text{Score}(p_k) = \alpha \cdot \hat{S}_{max}(p_k) + \beta \cdot \hat{C}(p_k)$, де $\alpha + \beta = 1$, а нормалізація $\hat{S}_{max}$ та $\hat{C}$ виконується методом min-max scaling до діапазону [0, 1]. Альтернативно, у промисловій реалізації системи Milla AI Assistant, де базова оцінка вже знаходиться у діапазоні відсотків релевантності, застосовується логарифмічне правило бонусу за мультизбіги: $\text{countBonus} = \min(5, 1.5 \cdot \log_2(\text{matchCount}))$, а фінальна релевантність обчислюється як $\text{relevance} = \min(100, \text{baseScore} \cdot 100 + \text{countBonus})$. Логарифмічна функція забезпечує, що перевага мультизбігів є значущою, але обмеженою, та не домінує над базовою візуальною подібністю.

Обгрунтування використання комбінованої оцінки замість простого ранжування за максимальною подібністю спирається на два спостереження. По-перше, кількість співпадінь є індикатором стабільності результату: якщо декілька зображень одного товару одночасно знаходяться серед Top-50, це свідчить про системну подібність модельного ряду, а не випадковий збіг за нерелевантними ознаками. По-друге, зважування за нормалізованою кількістю співпадінь частково компенсує статистичну перевагу товарів з великим набором фотографій, оскільки нормалізація приводить обидва показники до

співставного масштабу. Значення вагових коефіцієнтів α та β визначаються емпірично на валідаційному наборі даних методом сіткового пошуку (grid search) з оцінкою якості за метриками Recall@K та MRR (Mean Reciprocal Rank). За результатами дослідження раціональним є вибір α = 0.7 та β = 0.3, що відображає пріоритетність візуальної подібності над частотою співпадінь.

Експериментальна верифікація запропонованого алгоритму проведена на тестовому датасеті з 200 запитів (60 каталожних, 80 реальних фото від консультантів, 30 зображень конкурентів та 30 синтетичних модифікацій), розмічених двома незалежними експертами (коефіцієнт міжекспертної узгодженості κ = 0.82). Для моделі FashionSigLIP досягнуто Precision@1 = 0.875, Precision@5 = 0.794, Recall@10 = 0.683, Hit Rate@5 = 0.960 та MAP@30 = 0.762. Аблаційне дослідження впливу етапу попередньої обробки (видалення фону) продемонструвало, що для реальних фотографій з мобільних пристроїв із складним фоном приріст Precision@5 становить +0.143, а MAP@30 у середньому по усіх типах запитів зростає на +0.104, що еквівалентно покращенню якості пошуку приблизно на 14%. Результати підтверджують, що поєднання доменно-спеціалізованої моделі embedding з етапом видалення фону та реранжуванням за комбінованою оцінкою забезпечує конкурентоспроможні значення Recall@10 у порівнянні з опублікованими бенчмарками FashionIQ для моделей сімейства SigLIP/CLIP, адаптованих для модної індустрії.

Таким чином, запропонований метод реранжування результатів візуального пошуку на основі комбінованої оцінки візуальної подібності та кількості співпадінь дозволяє одночасно враховувати точність окремого збігу та статистичну стабільність множинних збігів, що підвищує робастність системи до випадкової візуальної подібності та зміщення, пов’язаного з нерівномірною кількістю каталожних фотографій. Перспективними напрямами подальших досліджень є автоматичний підбір вагових коефіцієнтів α та β через мета-навчання, інтеграція бізнес-факторів (наявність на складі, маржинальність) у функцію ранжування, а також доповнення

глобальних embedding-векторів локальними ознаками для зниження семантичного розриву (semantic gap) між тонкими деталями запиту та загальним вмістом embedding-вектора.

Список використаних джерел

1. Zhai, X., Mustafa, B., Kolesnikov, A., & Beyer, L. (2023). Sigmoid loss for language image pre-training. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 11975–11986. https://doi.org/10.1109/ICCV51070.2023.01100.https://doi.org/10.1002/hcs2.79

2. Malkov, Y. A., & Yashunin, D. A. (2020). Efficient and robust approximate nearest neighbor search using hierarchical navigable small world graphs. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 42(4), 824–836. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2889473.https://doi.org/10.1609/aaai.v38i17.29908

3. Jegou, H., Douze, M., & Schmid, C. (2011). Product quantization for nearest neighbor search. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 33(1), 117–128. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2010.57.https://doi.org/10.1609/aaai.v38i17.29908

4. Wu, H., Gao, Y., Guo, X., Al-Halah, Z., Rennie, S., Grauman, K., & Feris, R. (2021). Fashion IQ: A new dataset towards retrieving images by natural language feedback. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 11307–11317. https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01115.https://doi.org/10.1609/aaai.v38i17.29908

ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Хвищун Денис
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, гр.ЕЛ-31, Denycxbu06@gmail.com
Хвищун Микола
Луцький національний технічний університет, к.ф.-м.н., доцент кафедри електроніки, фізики та СМАРТ-систем, m.khvyshchun@lntu.edu.ua

FEATURES OF SOFTWARE TESTING AUTOMATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Denys Khvyshchun
Lutsk National Technical University, higher education student, group EL-31, Denycxbu06@gmail.com
Mykola Khvyshchun
Lutsk National Technical University, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronics, Physics and SMART Systems, m.khvyshchun@lntu.edu.ua

The paper investigates modern approaches to software testing automation using artificial intelligence technologies. Methods of intelligent test generation, self-healing mechanisms, and machine learning approaches for defect prediction are analyzed. The features of using Python, Selenium, and machine learning models to improve testing process efficiency are considered. A comparative analysis of AI-oriented and traditional automated testing is carried out.

Keywords: AI-testing, test automation, Python, Selenium, machine learning, self-healing tests.

Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується постійним зростанням складності програмних систем та збільшенням вимог до їхньої надійності й безпеки. У зв’язку з активним впровадженням DevOps і CI/CD-підходів

тестування програмного забезпечення стало невід'ємною складовою життєвого циклу розробки ПЗ [1]. Традиційне ручне тестування вже не забезпечує необхідної швидкості перевірки складних веб-застосунків, тому все більшого поширення набувають автоматизовані системи тестування [2].

Автоматизація тестування дозволяє скоротити час виконання регресійних перевірок, підвищити повторюваність тестових сценаріїв та мінімізувати вплив людського фактора. Проте класичні системи автоматизованого тестування мають низку суттєвих недоліків: високу вартість підтримки тестових сценаріїв, нестабільність UI-тестів та значну залежність від змін інтерфейсу користувача [2], [3]. У зв'язку з цим перспективним напрямом розвитку є інтеграція технологій штучного інтелекту та машинного навчання в процеси забезпечення якості програмного забезпечення.

Сучасні AI-підходи дозволяють автоматизувати не лише виконання тестів, а й процес їх аналізу, генерації та адаптації до змін програмного продукту. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання self-healing механізмів, які забезпечують автоматичне відновлення локаторів елементів після зміни DOM-структури веб-застосунку [4]. На рисунку 1 подано структурну схему AI-орієнтованої системи автоматизованого тестування.

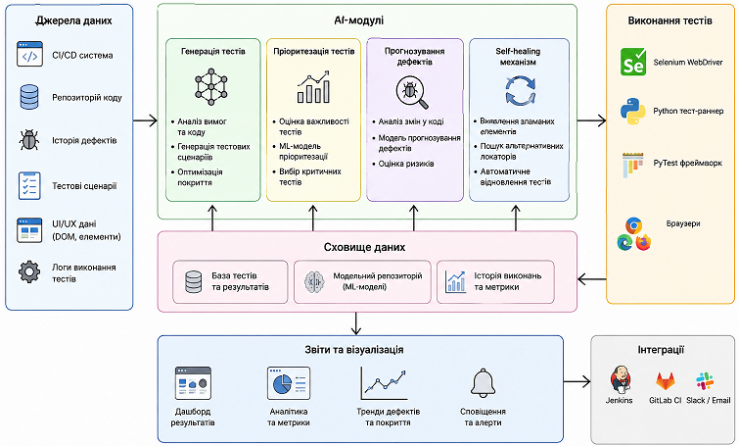


Рисунок 1. Архітектура AI-системи тестування програмного забезпечення

Такі системи аналізують альтернативні атрибути елементів, визначають найбільш ймовірні локатори та відновлюють працездатність тестових сценаріїв без втручання інженера з тестування.

Для реалізації AI-систем автоматизованого тестування широко використовуються мова програмування Python та інструменти Selenium, PyTest і бібліотеки машинного навчання. Python є однією з найбільш популярних мов для AI-testing завдяки великій кількості ML-фреймворків та можливості інтеграції з сучасними CI/CD-платформами [5]. Selenium забезпечує автоматизацію взаємодії з браузером, а бібліотеки машинного навчання дозволяють реалізувати механізми інтелектуальної пріоритезації тестів і прогнозування дефектів.

У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз традиційного та AI-орієнтованого тестування.

Таблиця 1. Порівняння традиційного та AI-орієнтованого тестування

Характеристика	Традиційне тестування	AI-testing
Підтримка тестів	Ручна	Частково автоматизована
Адаптація до змін UI	Низька	Висока
Прогнозування дефектів	Відсутнє	Підтримується
Швидкість регресії	Середня	Висока
Self-healing	Відсутній	Реалізований

Особливу увагу сучасні дослідники приділяють використанню машинного навчання для інтелектуальної пріоритезації тестів у CI/CD-конвеєрах [6]. ML-моделі дозволяють визначати найбільш критичні тестові сценарії та запускати їх у першу чергу, що забезпечує скорочення часу тестування та підвищення ефективності процесу забезпечення

якості.

Отже, застосування технологій штучного інтелекту в автоматизації тестування програмного забезпечення є перспективним напрямом розвитку сучасної інженерії програмного забезпечення. Використання self-healing механізмів, ML-моделей та інтелектуального аналізу тестів дозволяє підвищити ефективність виявлення дефектів, скоротити витрати на підтримку тестової інфраструктури та покращити якість програмних продуктів.

Список використаних джерел

1. Humble J., Farley D. Continuous Delivery. Addison-Wesley, 2011. 512 p.

2. Myers G. J., Sandler C., Badgett T. The Art of Software Testing. 3rd ed. Wiley, 2011. 248 p.

3. Ammann P., Offutt J. Introduction to Software Testing. 2nd ed. Cambridge University Press, 2017. 424 p.

4. Ricca F., Marchetto A., Stocco A. A Multi-Year Grey Literature Review on AI-Assisted Test Automation // Information and Software Technology. 2025. Vol. 186. Article 107799.

5. Zhang J. M., Harman M., Ma L., Liu Y. Machine Learning Testing: Survey, Landscapes and Horizons // IEEE Transactions on Software Engineering. 2022. Vol. 48, No. 1. P. 1-36.

6. Machalica M., Samylkin A., Porth M., Chandra S. Predictive Test Selection // Proceedings of the IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP). 2019. P. 91-100.

РОЗРОБКА ВЕБПЛАТФОРМИ ДЛЯ ОРЕНДИ КВАРТИР З ІНТЕГРАЦІЄЮ AI-ПОМІЧНИКА НА ОСНОВІ REACT, DJANGO ТА SQLITE

Федіна Ірина Миколаївна
Луцький національний технічний університет, студентка 4 курсу кафедри інженерії програмного забезпечення,
irafedina3662@gmail.com
Потейчук Михайло Іванович
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри інженерії програмного забезпечення
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPMENT OF A WEB PLATFORM FOR APARTMENT RENTAL WITH AI ASSISTANT INTEGRATION BASED ON REACT, DJANGO, AND SQLITE

Fedina Iryna
Lutsk National Technical University, 4th-year student of the Department of Software Engineering,
irafedina3662@gmail.com
Poteichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University, assistant of the department of software engineering,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper considers the development of a web platform for apartment rental with the integration of an AI assistant based on React, Django, and SQLite technologies. The main functional capabilities of the system, including apartment search, user interaction, and intelligent recommendation support, are analyzed. The advantages of using artificial intelligence technologies in modern web applications for improving user experience and automation are determined.

Keywords: web platform, apartment rental, artificial intelligence, React, Django, SQLite, AI assistant, web application.

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяє активній цифровізації сфери нерухомості та появі нових онлайн-сервісів для оренди житла. Вебплатформи для пошуку та оренди квартир значно спрощують взаємодію між орендодавцями й орендарями, забезпечують швидкий доступ до інформації та автоматизують основні процеси роботи із нерухомістю. Особливої актуальності набуває використання технологій штучного інтелекту, які дозволяють підвищити рівень персоналізації сервісів і покращити користувацький досвід.

Метою роботи є розробка вебплатформи для оренди квартир із інтеграцією AI-помічника для підтримки користувачів під час пошуку житла та взаємодії із системою. Для реалізації поставленої мети використовується сучасний стек технологій: React для клієнтської частини, Django для серверної логіки та SQLite для організації бази даних.

У сучасній веброзробці важливе значення мають продуктивність інтерфейсу, адаптивність та швидкість взаємодії користувача із системою. Як зазначають M. F. S. Lazuardy та D. Anggraini, бібліотека React є одним із найбільш популярних інструментів для створення сучасних вебінтерфейсів завдяки компонентному підходу, повторному використанню елементів та високій швидкодії [1]. Використання React дозволяє створити односторінковий вебзастосунок із динамічним оновленням контенту без необхідності повного перезавантаження сторінки, що покращує зручність використання системи.

Серверна частина платформи реалізовується за допомогою фреймворку Django мовою Python. Згідно з дослідженням B. Shaw, S. Badhwar, C. Guest та B. C. KS, Django забезпечує швидку розробку сучасних вебзастосунків, містить вбудовані засоби безпеки, підтримує архітектурний підхід MVC та спрощує роботу з базами даних [2]. Завдяки використанню Django у системі реалізуються механізми автентифікації користувачів, маршрутизація запитів, обробка даних та адміністрування платформи.

Для зберігання інформації використовується система керування базами даних SQLite. Як зазначає R. Johnson, SQLite є

компактною, ефективною та легкою у використанні реляційною базою даних, яка підходить для вебпроєктів малого та середнього масштабу [3]. Перевагами SQLite є простота інтеграції, висока швидкість роботи та відсутність необхідності окремого серверного програмного забезпечення. У межах вебплатформи база даних використовується для збереження інформації про користувачів, оголошення, параметри квартир, повідомлення та результати взаємодії із системою.

Основний функціонал вебплатформи включає реєстрацію та авторизацію користувачів, створення та редагування оголошень, перегляд доступних квартир, фільтрацію житла за різними критеріями, а також перегляд детальної інформації про об'єкти нерухомості. Користувачі можуть здійснювати пошук житла за місцем розташування, ціною, кількістю кімнат та іншими параметрами.

Особливістю системи є інтеграція AI-помічника, який покликаний спростити процес взаємодії користувача із платформою. Інтелектуальний помічник аналізує запити користувача та формує рекомендації щодо вибору житла відповідно до заданих критеріїв. Також AI-помічник може відповідати на типові запитання користувачів, допомагати з навігацією по платформі та автоматизувати окремі процеси взаємодії із системою.

Як зазначають C. Tiwari, S. Pillai, A. J. Obaid, A. R. Saear та A. K. Sabri, інтеграція технологій штучного інтелекту та машинного навчання у вебзастосунки дозволяє значно підвищити рівень автоматизації, персоналізації та ефективності роботи інформаційних систем [4]. Використання AI у сфері оренди нерухомості дозволяє покращити якість рекомендацій, скоротити час пошуку житла та забезпечити більш комфортну взаємодію користувачів із платформою.

Розроблена вебплатформа має практичне значення та може бути використана як основа для створення сучасних цифрових сервісів у сфері нерухомості. Подальший розвиток системи може передбачати інтеграцію картографічних сервісів, систем онлайн-бронювання, використання алгоритмів машинного навчання для

формування персоналізованих рекомендацій та створення мобільної версії застосунку.

Додатково важливою перевагою розробленої вебплатформи є можливість її масштабування та подальшої модернізації відповідно до потреб користувачів і тенденцій розвитку цифрових технологій. Завдяки використанню сучасних інструментів веброзробки система може бути адаптована для інтеграції із зовнішніми API, платіжними сервісами, геолокаційними модулями та хмарними технологіями. Це дозволить розширити функціональні можливості платформи, підвищити рівень безпеки даних, забезпечити стабільність роботи при великій кількості користувачів та створити конкурентоспроможний програмний продукт у сфері онлайн-оренди нерухомості.

Отже, використання сучасних вебтехнологій React, Django та SQLite у поєднанні із технологіями штучного інтелекту дозволяє створити ефективну вебплатформу для оренди квартир із високим рівнем функціональності, інтерактивності та зручності для користувачів.

Список використаних джерел

1. Lazuardy M. F. S., Anggraini D. Modern front end web architectures with React.js and Next.js. *Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2022. Vol. 7, № 1. P. 132–141.

2. Shaw B., Badhwar S., Guest C., KS B. C. Web Development with Django: A Definitive Guide to Building Modern Python Web Applications Using Django 4. Packt Publishing Ltd, 2023. 764 p.

3. Johnson R. SQLite Essentials: Definitive Reference for Developers and Engineers. HiTeX Press, 2025. 250 p.

4. Tiwari C., Pillai S., Obaid A. J., Saear A. R., Sabri A. K. Integration of artificial intelligence/machine learning in developing and defending web applications. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2736, № 1. P. 060038.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМУВАННЯ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ ПЕРЕВІРКОЮ КОДУ

Франовський Дмитро Христович
Луцький національний технічний університет, магістр спеціальності інженерія програмного забезпечення, franovskyy.d1403.f2.25@lntu.edu.ua
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN INTERACTIVE PLATFORM FOR LEARNING PROGRAMMING WITH AUTOMATED CODE CHECKING

Franovskyi Dmytro
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, franovskyy.d1403.f2.25@lntu.edu.ua
Andrii Yashchuk
Lutsk National Technical University, Associate Professor at the Department of Software Engineering, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

The rapid development of digital education and artificial intelligence creates new opportunities for interactive and personalized programming learning. Traditional teaching approaches often require significant teacher involvement in checking practical tasks, which slows feedback and reduces learning efficiency. An interactive web platform with a built-in code playground and AI-based code checking enables learners to practice programming in the browser, receive quick feedback, track progress, and complete tasks more effectively. Such systems are especially relevant for modern e-learning, where personalization, automation, and practical skills development are essential.

Keywords: programming education, e-learning platform, automated code checking, artificial intelligence, code playground, web application.

Швидкий розвиток комп'ютерних технологій змінює підходи до навчання програмуванню. Сьогодні студенти та початківці в IT активно використовують онлайн-платформи, які дозволяють навчатися у власному темпі, виконувати завдання та одразу бачити результати. Тому актуальним є створення веб-платформи для навчання програмуванню з автоматичною перевіркою коду користувачів.

Зазвичай навчання програмуванню включає вивчення теорії, написання коду та його ручну перевірку викладачем, що займає багато часу й ускладнює швидке виправлення помилок.

Інтерактивна платформа об'єднує навчальні матеріали, практичні завдання, код-плейграунд, моніторинг прогресу та автоматичну перевірку, дозволяючи виконувати завдання у браузері й одразу отримувати результати без додаткових програм.

Важливою складовою системи є код-плейграунд, який дозволяє створювати, запускати та перевіряти код безпосередньо на платформі, роблячи навчання зручнішим.

Автоматизована перевірка коду оцінює правильність виконання завдань, виявляє помилки, аналізує структуру рішення та якість коду. Такі інструменти забезпечують швидкий зворотний зв'язок і полегшують роботу викладачів та менторів [1].

Впровадження штучного інтелекту для перевірки завдань значно розширює функціонал традиційних систем автоматичного тестування. Якщо традиційна перевірка головним чином полягає в проведенні тестів, то елементи штучного інтелекту здатні забезпечити детальніші пояснення, корисні поради та рекомендації для покращення коду, а також аналізувати типові помилки. Це забезпечує більш індивідуалізований підхід до навчання, схожий на співпрацю з наставником [2].

Актуальність цього підходу підкріплюється динамічним зростанням ринку цифрової освіти. Згідно з прогнозами компанії Mordor Intelligence, вартість ринку цифрового навчання у 2026 році досягне 30,36 мільярда доларів США і може вирости до 98,58 мільярда доларів США до 2031 року (рис. 1). Головними факторами цього зростання є персоналізація за допомогою штучного інтелекту, доступність через мобільні пристрої та

вдосконалення цифрових освітніх ресурсів.

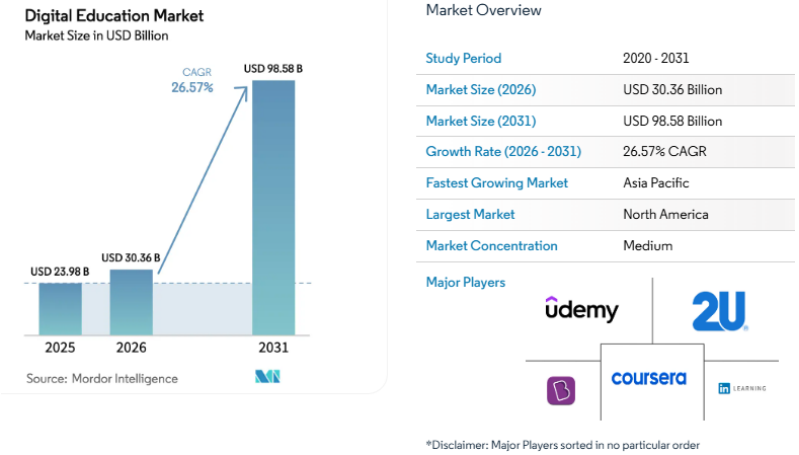


Рисунок 1. Прогноз зростання світового ринку цифрової освіти у 2026-2031 роках [3]

Навчання зараз змінюється дуже швидко. Ринок штучного інтелекту росте дуже швидко. Свежі звіти показують це. Компанія Grand View Research передбачає, що цей ринок досяг 5,88 мільярда доларів вже у 2024 році. Це виглядає дуже вражаюче, але очікується, що до 2030 року він виросте до 32,27 мільярда доларів [4]. Це означає, що люди хочуть використовувати сервіси, які допоможуть їм вивчити складний матеріал. Це не просто тимчасовий тренд. Справжня зміна полягає в тому, що зараз ми хочемо мати персоналізовані інструменти навчання. Штучний інтелект не замінює людей, але він змінює спосіб, яким ми працюємо з інформацією. Тепер автоматизація підтримки учнів стає необхідністю, а не просто додатковою опцією. Це підтверджує той факт, що зараз ми переходимо до інтелектуальних платформ, які можуть миттєво реагувати на наші запити. Це стає нашою новою реальністю.

З технічної точки зору, цю платформу можна створити за допомогою сучасних технологій. Наприклад, можна використовувати Next.js та React, щоб створити швидкий і зручний інтерфейс. TypeScript допоможе зробити код більш надійним. Neon Postgres буде зберігати дані, Drizzle ORM допоможе взаємодіяти з базою даних, а Clerk здійснює

автентифікацію користувачів [5]. Така архітектура ідеально підходить для розробки великої освітньої платформи, яка включатиме курси, особисті кабінети користувачів, відстеження навчального прогресу та систему оцінювання завдань.

Отже, створення інтерактивної платформи для навчання програмуванню з автоматизованою перевіркою коду є важливим напрямком у галузі цифрової освіти. Ця система об'єднує теоретичні знання, практику в програмуванні, автоматизоване оцінювання і підтримку штучного інтелекту. Все це робить процес навчання більш ефективним, надійним та адаптованим до потреб кожного учня.

Список використаних джерел

1. Combéfis S. Automated Code Assessment for Education: Review, Classification and Perspectives on Techniques and Tools. *MDPI*. URL: https://www.mdpi.com/2674-113X/1/1/2 (date of access: 22.04.2026).

2. Automated Grading and Feedback Tools for Programming Education: A Systematic Review / M. Messer et al https://dl.acm.org/. URL: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3636515 (date of access: 22.04.2026).

3. Digital Education Market Size, Growth Report, Forecast & Share 2031. *Mordor Intelligence*. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/digital-education-market (date of access: 01.05.2026).

4. AI In Education Market Size & Share | Industry Report, 2030. Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-education-market-report (date of access: 01.05.2026).

5. Shortiss E. Next.js authentication using Clerk, Drizzle ORM, and Neon – Neon. Neon. URL: https://neon.com/blog/nextjs-authentication-using-clerk-drizzle-orm-and-neon (date of access: 06.05.2026).

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕБПЛАТФОРМ

Хітько Юлія Володимирівна
Луцький національний технічний університет, магістрант 1 курсу спеціальності «Інженерія програмного забезпечення», khitko.yu1012.f2.25@lntu.edu.ua
Ліщина Наталія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

OPTIMIZATION OF PERSONNEL MANAGEMENT PROCESSES USING AUTOMATED WEB PLATFORMS

Khitko Yulia
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, khitko.yu1012.f2.25@lntu.edu.ua
Nataliia Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

The fast growth of digital technologies is pushing companies to adopt modern solutions in human resource management and makes optimizing HR processes more important than ever. Traditional methods that rely on manual work often lead to inefficiencies and mistakes. In contrast, integrated information systems and web-based platforms allow companies to manage data in one place, make better decisions, and work more efficiently while also reducing costs. As a result, digital transformation in HR is no longer optional but a strategic necessity.

Keywords: human resource management, process optimization, digital transformation, HR systems, web-based platforms.

Стрімкий розвиток цифрових технологій зумовлює активне впровадження автоматизованих рішень у сферу управління

персоналом. У сучасних організаціях ефективність HR-процесів впливає безпосередньо на загальну картину продуктивності підприємства, що формує необхідність їх оптимізації.

Традиційні підходи до управління персоналом часто базуються на ручній обробці інформації, використанні децентралізованих програмних засобів та паперовому документообігу. Це призводить до дублювання даних, збільшення кількості помилок та значних витрат часу. За сучасними оцінками, до 50-60% робочого часу HR-фахівців витрачається на виконання адміністративних операцій, що знижує ефективність управління [1].

Зростання обсягів інформації про персонал, необхідність оперативного прийняття рішень та постійне посилення вимог до якості управління потребують впровадження автоматизованих інформаційних систем. Такі системи дозволяють інтегрувати всі процеси управління персоналом у єдине цифрове середовище.

Автоматизовані інформаційні системи управління персоналом забезпечують централізоване зберігання даних, що виключає їх дублювання та забезпечує актуальність інформації. Використання спільної бази даних дозволяє підвищити швидкість доступу до інформації та спрощує процес її обробки.

Впровадження інформаційних систем кадрового обліку забезпечує ведення електронних особових справ, відстеження робочого часу та управління відпустками. Особливу роль відіграє автоматизація процесу адаптації персоналу, наприклад, використання спеціальної системи, яка автоматично надсилає новим співробітникам вітальні листи, навчальні матеріали та чек-листи із завданнями, що дозволяє суттєво зменшити навантаження на HR-відділ.

Значні переваги надає впровадження аналітичних інструментів у межах інформаційних систем. Автоматизовані рішення дають змогу здійснювати збір, обробку й аналіз даних у режимі реального часу, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. Окрім цього, використання аналітичних можливостей таких платформ дозволяє скоротити час на виконання рутинних задач на 25-30% [2].

Веборієнтовані інформаційні системи мають суттєві переваги порівняно з традиційними програмними рішеннями. Вони забезпечують віддалений доступ до системи та дозволяють інтегрувати різні бізнес-процеси в єдину систему.

Використання вебплатформ для управління персоналом також сприяє підвищенню прозорості управління персоналом. Керівництво отримує доступ до актуальної інформації про стан персоналу, що дозволяє швидко відстежувати зміни та приймати найбільш ефективні рішення.

Прогнозоване зростання ринку HR-програмного забезпечення до 2035 року демонструє (рис. 1), що автоматизація управління персоналом переходить із додаткової опції у стратегічну необхідність. У таких умовах впровадження інформаційних систем стає одним із основних факторів успішного розвитку підприємств.

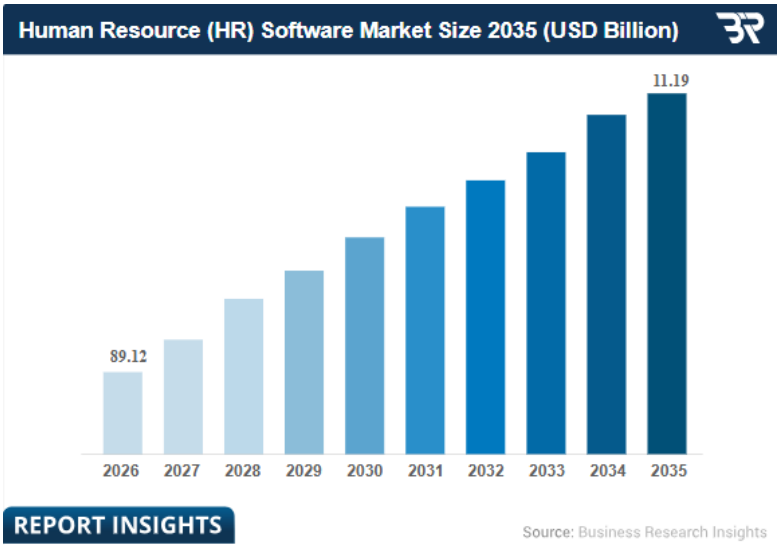


Рисунок 1. Прогноз зростання обсягу світового ринку HR-програмного забезпечення до 2035 року [3]

Таким чином, оптимізація процесів управління персоналом із застосуванням автоматизованих інформаційних систем

виступає одним із ключових напрямів цифрової трансформації сучасних підприємств. Використання таких систем дозволяє забезпечити інтеграцію кадрових процесів у єдине інформаційне середовище, підвищити оперативність обробки даних та знизити вплив людського фактору на результати управлінських рішень.

Автоматизація HR-процесів сприяє раціоналізації використання ресурсів організації, зменшенню витрат часу на виконання рутинних операцій та підвищенню точності обліку й аналізу інформації. Крім того, впровадження сучасних веборієнтованих платформ забезпечує прозорість управління персоналом, розширює можливості аналітики та підтримує прийняття обґрунтованих управлінських рішень на основі актуальних даних у режимі реального часу.

У результаті підприємства отримують не лише підвищення ефективності своєї діяльності, але й суттєві конкурентні переваги на ринку, що проявляються у швидшій адаптації до змін зовнішнього середовища, покращенні якості управління людськими ресурсами та зростанні загальної продуктивності організації.

Список використаних джерел

1. 21 Top HR Automation Statistics and Trends in 2025. Deel – Global Payroll, Compliance, HR Solutions – HRIS. URL: https://www.deel.com/blog/hr-automation-statistics-trends/ (date of access: 13.04.2026).

2. SMART business. The Efficiency of HR Process Automation in Numbers: Metrics and Real Success Indicators – SMART HCM & LMS. URL: https://hr.smart-it.com/blog-post/the-efficiency-of-hr-process-automation-in-numbers-metrics-and-real-success-indicators/ (date of access: 13.04.2026).

3. Human Resource (HR) Software Market 2026–2035 – Size, Share & Forecast. Business Research Insights – Market Research Report & Consulting. URL: https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/human-resource-hr-software-market-117555 (date of access: 13.04.2026).

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЙМІФІКАЦІЇ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВЕБПЛАТФОРМАХ ДЛЯ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ

Чоботар Юлія Сергіївна
Луцький національний технічний університет, магістрант 1 курсу спеціальності «Інженерія програмного забезпечення», chobotar_12858476@lutsk-ntu.com.ua
Ліщина Наталія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

APPLICATION OF GAMIFICATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WEB PLATFORMS FOR LEARNING FOREIGN LANGUAGES

Chobotar Yuliia
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, chobotar_12858476@lutsk-ntu.com.ua
Nataliia Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor at the Department of Software Engineering, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

The rapid growth of digital technologies encourages the active introduction of interactive solutions in the field of education. The paper explores the concept of a web platform for learning foreign languages, which leads to automated knowledge testing, gamification elements and AI technologies. The feasibility of developing such solutions in the context of the digital transformation of education is substantiated. The key advantages of the proposed approach and the prospects for its further development are identified.

Keywords: web platform, learning foreign languages, gamification, automated knowledge testing, artificial intelligence, distance education.

Знання іноземних мов у сучасному світі є одним із ключових

чинників академічної мобільності, професійного розвитку та міжнародної комунікації. Особливо актуальним це питання є для України в умовах євроінтеграції. Водночас традиційні підходи до вивчення мов – аудиторні заняття, статичні онлайн-курси, друковані підручники – часто не забезпечують достатньої ефективності. Людина змушена підлаштовуватися під жорсткий розклад, чекати зворотного зв'язку від викладача та витрачати значні кошти на навчання. За даними платформи Coursera, понад 90% користувачів не завершують розпочаті онлайн-курси – передусім через низьку мотивацію та відсутність інтерактивності [1]. Це свідчить про нагальну потребу у якісно нових рішеннях для організації мовного навчання.

Одним із таких рішень є розробка інтерактивної вебплатформи, що поєднує автоматизовану систему перевірки знань та елементи гейміфікації. Подібний підхід демонструє платформа Duolingo, яка станом на 2024 рік налічує понад 500 мільйонів зареєстрованих користувачів і підтверджує: коли навчання стає захопливим і доступним, люди повертаються до нього щодня [2].

Автоматизована перевірка знань дозволяє усунути одну з головних проблем традиційного навчання – відкладений зворотний зв'язок. Система миттєво реагує на відповідь користувача, вказує на помилку та пояснює правильний варіант, не потребуючи участі викладача. Це забезпечує безперервність навчання у будь-який зручний час і знімає залежність від розкладу занять. Крім того, завдання різних типів – аудіювання, переклад, вибір відповіді, складання речень – охоплюють усі аспекти мовної компетенції в межах однієї платформи.

Не менш важливу роль відіграє гейміфікація. Системи балів (XP), серій, досягнень, таблиць лідерів та внутрішніх нагород формують стійку звичку до регулярних занять через механізми внутрішньої та зовнішньої мотивації. Систематичний огляд Ratinho та Martins (2023), що охопив аналіз 40 наукових праць за методологією PRISMA 2020, підтвердив: ігрові елементи – бали, бейджі та таблиці лідерів – є найбільш поширеними інструментами підвищення мотивації, а гейміфікація загалом

позитивно впливає на залученість учнів та відчуття власного прогресу і компетентності [3]. Схожі результати отримала й українська компанія CleverStaff, яка після впровадження гейміфікованої системи зафіксувала суттєве зростання активності та мотивації серед своїх користувачів [4] (рис. 1).

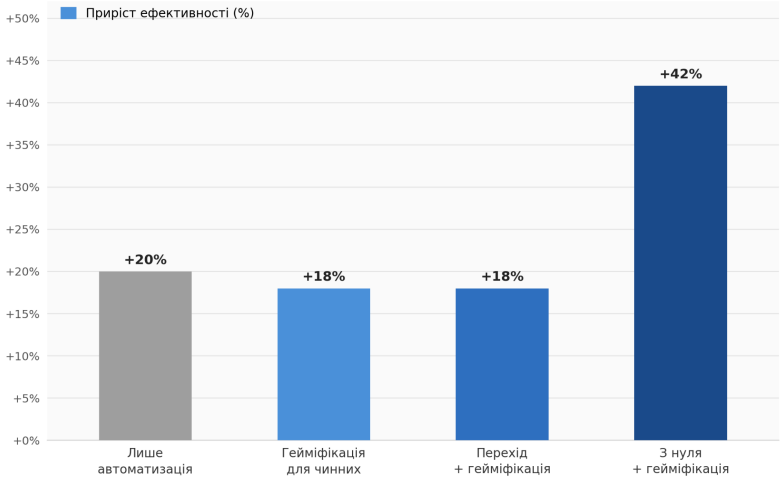


Рисунок 1. Приріст ефективності роботи залежно від впровадження гейміфікації

Окрему перевагу надає інтеграція штучного інтелекту. Використання AI-синтезу мовлення, зокрема таких інструментів як ElevenLabs AI, дозволяє генерувати природне аудіо носія мови для будь-якого навчального завдання без залучення акторів озвучення [5]. Це суттєво знижує вартість створення контенту та відкриває можливість масштабування платформи на нові мови. У перспективі AI також може забезпечити адаптивність навчального маршруту – автоматично підлаштовувати складність і тематику завдань під прогрес конкретного користувача.

Важливою перевагою вебплатформи є її доступність. На відміну від традиційних курсів, онлайн-рішення не прив'язані до географії, розкладу чи матеріального становища користувача. Freemium-модель монетизації, при якій базовий доступ є безкоштовним, дозволяє охопити широку аудиторію – включаючи людей з обмеженими можливостями або з віддалених регіонів.

Успішність такої моделі підтверджує Duolingo, що отримав понад 500 мільйонів доларів доходу у 2023 році саме завдяки freemium-підходу [2].

Таким чином, розробка інтерактивної вебплатформи для вивчення іноземних мов з автоматизованою перевіркою знань та гейміфікацією є обґрунтованим і перспективним напрямом. Поєднання ігрових механік, миттєвого зворотного зв'язку та AI-технологій здатне вирішити ключові проблеми традиційного мовного навчання – низьку мотивацію, відсутність доступності та залежність від викладача. Реалізація подібного рішення сприятиме підвищенню якості мовної освіти та розширенню можливостей для її здобуття незалежно від місця проживання чи соціального статусу користувача.

Список використаних джерел

1. Coursera. Global Skills Report 2023. URL: https://www.coursera.org/skills-reports/global (дата звернення: 20.04.2025).

2. Duolingo Inc. Annual Report 2023. URL: https://investors.duolingo.com (дата звернення: 20.04.2025).

3. Ratinho E., Martins C. The role of gamified learning strategies in student's motivation in high school and higher education: A systematic review. Heliyon. 2023.

4. Як гейміфікація впливає на ефективність роботи. URL: https://happymonday.ua/gejmifikatsiya-vplyvaye-na-robotu-rekrutera (дата звернення: 27.04.2025).

5. ElevenLabs AI. Text to Speech. URL: https://elevenlabs.io (дата звернення: 20.04.2025).

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕКСТУВАННЯ ВЕБЗАСТОСУНКІВ

Юзепчук Вероніка Юріївна
ЛНТУ, студентка, кафедра ІПЗ, yuzepchuk.v1312@lntu.edu.ua
Андрущак Ігор Євгенович
ЛНТУ, д.т.н., професор, кафедра ІПЗ, 9000@lntu.edu.ua

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATION OF WEB APPLICATION TESTING

Yuzepchuk Veronika
LNTU, student, Department of Software Engineering, yuzepchuk.v1312@lntu.edu.ua
Andrushchak Igor
LNTU, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Software Engineering, 9000@lntu.edu.ua

The paper examines the use of artificial intelligence technologies for automating web application testing. The main approaches to automated testing, advantages of AI-based tools, and their impact on software quality are analyzed. The study highlights the prospects of integrating artificial intelligence into software development processes to improve testing efficiency and reduce development time.

Keywords: artificial intelligence, automated testing, web application, software engineering, quality assurance.

Сучасні вебзастосунки характеризуються складною архітектурою, великою кількістю функціональних компонентів та постійним оновленням програмного коду. У зв’язку з цим тестування програмного забезпечення стає важливим етапом розробки, який забезпечує стабільність роботи системи та покращення якості програмного продукту [1].

Традиційні методи тестування часто потребують значних витрат часу та ресурсів, особливо у випадках великих вебсистем із частими змінами інтерфейсу та функціональності. Одним із перспективних напрямів розвитку програмної інженерії є

використання технологій штучного інтелекту для автоматизації процесів тестування [2].

Системи автоматизованого тестування на основі штучного інтелекту дозволяють аналізувати поведінку користувача, прогнозувати можливі помилки та автоматично генерувати тестові сценарії [5]. Такі підходи забезпечують зменшення кількості ручної роботи та підвищення ефективності перевірки програмного забезпечення.

Одним із головних напрямів застосування штучного інтелекту у тестуванні є автоматичне створення тест-кейсів. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати структуру вебзастосунку та формувати сценарії перевірки функціональності на основі попередніх дій користувачів або змін у програмному коді. На рисунку 1 наведено загальну схему використання штучного інтелекту у процесі тестування вебзастосунків.

Рисунок 1. Схема автоматизації тестування вебзастосунків із використанням штучного інтелекту

Крім цього, технології штучного інтелекту використовуються для виявлення аномалій у роботі вебсистем. Завдяки аналізу логів, поведінки користувачів та результатів попередніх тестувань система може виявляти потенційні помилки ще до появи критичних збоїв [4].

Серед популярних інструментів автоматизованого тестування можна виділити Selenium, Cypress та Playwright. Інтеграція таких платформ із алгоритмами штучного інтелекту дозволяє адаптувати тестування до змін інтерфейсу та зменшувати кількість помилок, пов’язаних із нестабільністю елементів сторінки [3]. Порівняння традиційного та AI-орієнтованого тестування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння традиційного та AI-орієнтованого тестування

Характеристика	Традиційне тестування	AI-орієнтоване тестування
Створення тестів	Ручне	Автоматизоване
Швидкість тестування	Середня	Висока
Адаптація до змін UI	Низька	Висока
Виявлення аномалій	Обмежене	Автоматизоване

Використання штучного інтелекту дозволяє скоротити час перевірки програмного забезпечення, автоматизувати рутинні процеси та підвищити точність тестування. Такі технології сприяють зменшенню кількості людських помилок і забезпечують швидке масштабування тестових сценаріїв.

Разом із перевагами існують і певні обмеження. Навчання моделей штучного інтелекту потребує значної кількості даних та додаткових обчислювальних ресурсів. Крім цього, автоматизоване тестування не здатне повністю замінити ручну перевірку складних сценаріїв взаємодії користувача із системою.

Використання штучного інтелекту в автоматизованому тестуванні є перспективним напрямом розвитку програмної інженерії, що дозволяє підвищити якість вебзастосунків та оптимізувати процес їх розробки.

Список використаних джерел

1. The Selenium Browser Automation Project. Selenium. URL: https://www.selenium.dev/documentation/

2. Cypress Documentation. Cypress Documentation. URL: https://docs.cypress.io/app/get-started/why-cypress.

3. Installation | Playwright. *Fast and reliable end-to-end testing for modern web apps | Playwright*. URL: https://playwright.dev/docs/intro.

4. Stryker C., Kavlakoglu E. What Is AI URL: https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence

АВТОМАТИЗОВАНЕ ТЕСТУВАННЯ ВЕБДОДАТКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ

Яроцький Михайло Віталійович
Рівненський державний гуманітарний університет,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
yarotskyi.mykhailo.ipz@rshu.edu.ua
Сяський Володимир Андрійович
Рівненський державний гуманітарний університет,
доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання,
к.т.н., доцент, volodymyr.siaskyi@rshu.edu.ua

AUTOMATED WEB APPLICATION TESTING USING CLOUD COMPUTING AND CONTAINERIZATION

Yarotskyi Mykhailo Vitaliiovych
Rivne State University of the Humanities,
student pursuing a first-cycle (bachelor's) degree,
yarotskyi.mykhailo.ipz@rshu.edu.ua
Siaskyi Volodymyr Andriyovych
Rivne State University for the Humanities, Associate Professor at the Department of Information Technology and Modeling, Ph. D., Associate Professor, volodymyr.siaskyi@rshu.edu.ua

The paper examines the practical implementation of automated web application testing using modern tools such as Playwright, Pytest, Docker, and GitHub Actions. The focus is on comparing different environments for test execution, including local machines, containerized environments, and cloud CI/CD pipelines. The results demonstrate differences in execution time, stability, and reproducibility of tests.

Keywords: automated testing, CI/CD, Docker, Playwright, GitHub Actions.

Автоматизоване тестування вебдодатків є важливою частиною сучасного процесу розроблення програмного забезпечення [1]. Воно дозволяє швидко перевіряти

функціональність системи, зменшувати кількість помилок та підвищувати якість продукту. Також слід відзначити, що сучасні підходи до тестування передбачають використання хмарних технологій. Це дозволяє запускати тести не тільки локально, але й у віддалених середовищах, що забезпечує стабільність і повторюваність результатів.

У проведеному дослідженні використано сучасний набір технологій, який дозволяє реалізувати повноцінну систему автоматизованого тестування вебдодатків. Основною мовою програмування обрано Python, оскільки вона є простою у використанні та має широку підтримку бібліотек для тестування. Для написання тестів використано фреймворк Pytest, який забезпечує зручну організацію тестових сценаріїв та підтримує паралельне виконання. Автоматизація взаємодії з браузером реалізована за допомогою Playwright, що дозволяє імітувати дії користувача та перевіряти роботу інтерфейсу.

Окрему роль у проєкті відіграє контейнеризація. Для цього використано Docker [2], який дозволяє запускати тести в ізольованому середовищі. Це забезпечує однакові умови виконання незалежно від комп'ютера або операційної системи. Завдяки цьому зменшується кількість помилок, пов'язаних із різницею в налаштуваннях середовища чи наявність особливих критеріїв.

Структура проєкту побудована з використанням підходу Page Object Model (POM). Це означає, що логіка взаємодії з елементами інтерфейсу винесена в окремі класи сторінок, а логіку написання тест-сценаріїв тільки у класи з самими автотестами. Це дозволяє зробити тести більш зрозумілими, гнучкими та зручними для підтримки.

Для автоматизації процесу запуску тестів використано сервіс GitHub Actions [3]. Він дозволяє виконувати тести автоматично після внесення змін у репозиторій. Таким чином забезпечується постійний контроль якості коду без необхідності ручного запуску тестів.

На рисунку 1 зображений автоматичний запуск тестів на хмарі за допомогою GitHub Actions після кожного оновлення

пайплайну.

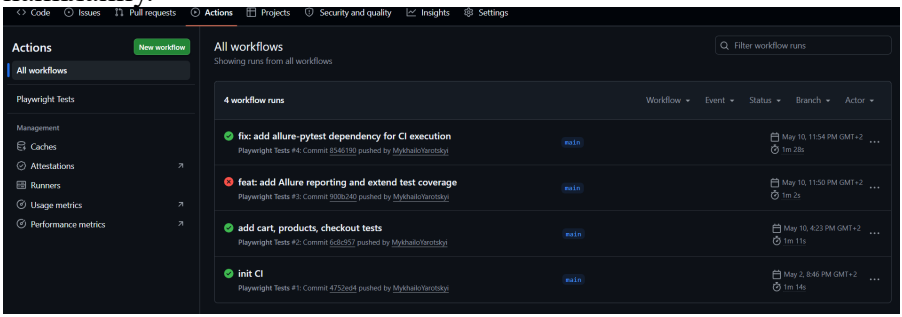


Рисунок 1. Результати тестів у GitHub Actions

Для аналізу результатів тестування застосовано систему Allure Reports, робота якої зображена на рисунку 2.

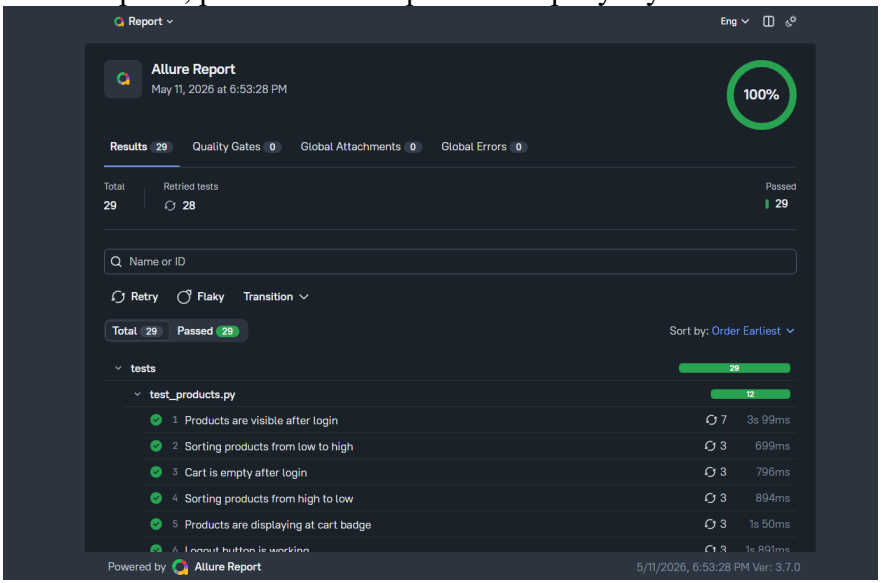


Рисунок 2. Результати тестів в Allure Reports

Вона надає зручний інтерфейс для перегляду результатів, дозволяє відстежувати статуси тестів та переглядати деталі їх виконання. Це значно спрощує процес аналізу та допомагає швидше знаходити помилки. Також варто зазначити, важливість візуалізації тестування не тільки для спеціалістів, але й для бізнес-логіки чи внутрішніх процесів команди, що можна використовувати у звітності та презентаціях.

На підставі аналізу і порівняння результатів, отриманих у різних середовищах та з використанням відповідного програмного забезпечення, тестування вебдодатків можна розділити на три групи за часовим критерієм:

- швидке, але потенційно нестабільне (локальний запуск);
- середнє, але стабільне (Docker);
- повільне, але може бути запущене у хмарі (GitHub Actions).

Сукупність різних технології, що сконфігуровані відповідним чином під конкретні реальні потреби, дозволяють сформувати цілісну систему автоматизованого тестування, яка поєднує локальне виконання, контейнеризацію та хмарну автоматизацію. Запропонована модель та реалізація програмної системи автоматизованого тестування може бути адаптована для використання на реальних вебдодатках, які функціонують та оновлюються на різних платформах.

Список використаних джерел

1. Van Veenendaal E., Black R., Graham D. Foundations of Software Testing: ISTQB Certification. 5th Edition. Andover: Cengage Learning EMEA, 2024. 288 p.

2. Poulton N. Docker Deep Dive: Zero to Docker in a Single Book. Stratford Living Publishing, 2020. 250 p.

3. Obuse E., Erigha E.D., Okare B.P., Uzoka A.C., Owoade S., Ayanbode N. Integrating Continuous Integration Pipelines Using GitHub Actions, Jenkins, and End-to-End Test Automation Frameworks. *International Journal of Multidisciplinary Evolutionary Research*. 2021. Vol. 2, Issue 1. P. 63–75.

IMPLEMENTATION OF A REPLAY SUBSYSTEM FOR A HIGH-LOAD MARITIME TRAFFIC VISUALIZATION SYSTEM WITH AN UNSTABLE DATA SOURCE

Sofiia Burimova
Oles Honchar Dnipro National University, 4th year student of the Faculty of Applied Mathematics and Information Technologies, sofiaburimova@gmail.com
Hanna Mykhalchuk
Oles Honchar Dnipro National University, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Information Technologies, ai.mikhalchuk@gmail.com

The paper explains the development of a backend subsystem for an existing software for visualizing maritime AIS traffic. Data source sometimes stops broadcasting, the alternatives are limited by price or location. To ensure the project always stays functional, AIS data storage in parallel with visualization and eventual replay to main backend were implemented, which makes a solid example of fault-tolerance measures.

Keywords: ClickHouse, fault tolerance, replay, AIS, maritime traffic.

Several DBMSs were considered for storing AIS traffic history. Postgres, already in use in the project, [3] is not optimized for writing large volumes of data constantly, or for retrieving same amounts at near-real-time speed. And Redis is not designed for long-term storage of historical data and does not guarantee data order upon retrieval. The data itself is clearly structured, unsuitable for a key-value format.

Among potential new options, Apache Kafka was considered due to its extensive data replay capabilities [2], although overkill even for the scale of the system being implemented. But the data is fully structured, while Kafka is format-agnostic, which would incur the cost of serializing each record upon saving and deserializing it upon replay.

Clickhouse DBMS was selected for many benefits for the discussed task. Compression capabilities are 5-10 times more efficient than JSON storage, data must be structured, null values are

implemented sparingly, data import and export in TXT and CSV formats are available, and the insertion mechanism is designed for batches of thousands of records [1].

The original idea behind implementing a reusable replay was to store the time messages were saved, convert it to relative time from the start of each session, and replay them as they arrive. However, this approach is highly vulnerable, designed only for perfectly continuous operation of the project. Any break in traffic history will be reflected as a lack of replay for the same amount of real time.

Limiting interruptions during replay to a certain maximum value can bring a seamless transition, but it will still be impossible or inconvenient to see when one session ended and another began. It's better to record the number of milliseconds since the start of a session. This allows to determine the end of sessions and the start of new ones marked by records having 0 in that column.

The final version also includes columns for session ID and real start time. Start time column enables clear analytics of the usage of the whole project. The IDs are just natural numbers, which allow to query records by session in the replay code, which is both easy to implement and efficient database wise.

Data is structured into a wide sparse table with columns from all message types combined, as if a result of an already completed JOIN, whose creation script is depicted at the Fig. 1. When storing a message of a certain type, the cells associated with all other types will contain NULL or 0. To recognize types during reading, a column with the message type ID has been added. Its value per each message is approximately reconstructed according to the AIS specification to a degree sufficient for type recognition in the database.

The main columns - those for replay management and common AIS properties - are required for any record. Almost all the rest are nullable, as they correspond to mutually exclusive message types. The only non-nullable columns are those of uint8 type, because it is more efficient to leave as is than to apply a null mask or LowCardinality dictionary [1]. To improve data compression further, codecs and/or compression algorithms were specified for all columns according to ClickHouse best practices, especially the Delta codec for the replay

management columns, as these are not completely random sequences.

```
http://localhost:8123

CREATE TABLE IF NOT EXISTS AIS_History
(
    SessionId UInt32 CODEC(Delta, LZ4),
    SessionStartTime DateTime64 CODEC(Delta(4), LZ4),
    SessionElapsedMillis UInt64 CODEC(Delta, LZ4),

    MMSI UInt32 CODEC(ZSTD),
    RepeatIndicator Bool,
    AisMessageType UInt8,

    Position_Lat Nullable(Double) CODEC(ZSTD(3)),
    Position_Long Nullable(Double) CODEC(ZSTD(3)),
    Position_Accuracy Nullable(Bool),
    Position_NavigationStatus UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Position_RateOfTurn Int8 CODEC(ZSTD(1)),
    Position_CourseOverGround Nullable(Double) CODEC(ZSTD(3)),
    Position_SpeedOverGround Nullable(Double) CODEC(ZSTD(3)),
    Position_TrueHeading Nullable(UInt16) CODEC(T64, ZSTD(3)),
    Position_Timestamp UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Position_SpecialManeuverIndicator UInt8 CODEC(ZSTD(1)),

    Ship_Name Nullable(String) CODEC(LZ4),
    Ship_TypeId UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Ship_Dimension_A Nullable(UInt16) CODEC(T64, ZSTD(3)),
    Ship_Dimension_B Nullable(UInt16) CODEC(T64, ZSTD(3)),
    Ship_Dimension_C Nullable(UInt16) CODEC(T64, ZSTD(3)),
    Ship_Dimension_D Nullable(UInt16) CODEC(T64, ZSTD(3)),
    Ship_CallSign Nullable(String) CODEC(LZ4),

    Ship_IMO Nullable(UInt32) CODEC(ZSTD),
    Ship_ETA_Min UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Ship_ETA_Hour UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Ship_ETA_Day UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Ship_ETA_Month UInt8 CODEC(ZSTD(1)),
    Ship_MaxStaticDraught Nullable(Double) CODEC(ZSTD(3)),
    Ship_DestinationName Nullable(String) CODEC(LZ4),

    Ship_VendorIdName Nullable(String) CODEC(LZ4),
    Ship_VendorIdSerial Nullable(UInt32) CODEC(ZSTD),
    Ship_VendorIdModel UInt8 CODEC(ZSTD(1)),

    Safety_Text Nullable(String) CODEC(LZ4),
    Safety_DestinationID Nullable(UInt32) CODEC(ZSTD),
    Safety_Retransmission Nullable(Bool)
)
ENGINE = MergeTree()
PARTITION BY toYYYYMM(SessionStartTime)
ORDER BY (SessionId, SessionElapsedMillis);
```

Figure 1. Creation script for the replayable AIS history table

The discussed microservice, which initially only listened for AIS traffic, parsed it and sent it to the main backend via gRPC, is organized according to the producer-consumer pattern [3]. Now the second part (consumer), adds messages to a concurrent queue immediately after parsing them. Saving message batches to the database is organized in a separate thread, which structurally acts as

another consumer. Minimal batch size is set to 1,500 records and the interval to gather them is at least 10 seconds. After writing to the database, the queue is cleared.

Hard-coding text-based SQL queries with references to multiple columns, each of which might undergo a name change, is a bad practice in terms of maintainability. ClickHouse supports stored functions [1], but since records are saved in batches, many INSERT statements must be combined into a single query. So script templates for inserting data for each AIS type are stored in text files and parameters are inserted into them with string formatting.

Structurally, implementing replay can be considered adding another producer into the microservice [3]. Messages are grouped by time relative to the start of their session and separated during actual replay via Task.Delay. Refactoring was done in the end so that the source of AIS messages - listening to the web socket or retrieval of the historical data - can be selected via a command-line argument. In the replay mode the saving described in the paper is not started.

References

1. Anand R. Vijay. (2022). Up and Running with ClickHouse. BPB Publications. ISBN: 978-93-91392-246. Retrieved from https://reference-global.com/chapter/9789391392246/10.0000/9789391392246-001.

2. Ben Stopford. (2019). Designing Event-Driven Systems. Concepts and Patterns for Streaming Services with Apache Kafka. ITSumma Press. ISBN: 978-5-6042412-1-9. Retrieved from https://sitic.org/wordpress/wp-content/uploads/Designing-Event-Driven-Systems.pdf

3. Sofiia Burimova, Hanna Mykhalchuk. (2026). Development of a high-load pipeline for transferring marine traffic data from source to end user in real time. Information Technologies in Metallurgy and Machine building - ITMM 2026. https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2026.01.064

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION A SOFTWARE TOOL FOR OBSERVABILITY IN MICROSERVICE APPLICATIONS

Mahdi H. Miraz
Associate Professor and Head BITNet Research Group, School of Computing and Data Science, Xiamen University (Malaysia Branch), Malaysia, m.miraz@gmail.com
Serhiy Bilyk
Master's Student, Software Engineering Department,
Lutsk National Technical University, bilyk.s1607.f2.25@lntu.edu.ua

The paper proposes a software middleware tool implemented in Python that enables unified observability by automatically correlating logs, metrics and distributed traces using a consistent request identifier. The effectiveness of the approach is evaluated through comparative measurements of error diagnosis time with and without the proposed tool.

Keywords: Microservices, Observability, Middleware, Distributed Tracing, Telemetry Correlation.

The adoption of microservices architectures has grown rapidly due to their scalability and modularity [1]. However, this architectural style also creates complex system behavior where a single user request may span multiple independent services. Existing observability approaches rely on separate tooling for collecting logs, metrics and traces, which complicates root cause analysis and increases operational overhead [2].

Current observability stacks provide rich data regarding system performance, but they often lack automatic integration between different telemetry signals (logs, metrics, traces). This separation creates a gap in holistic understanding, slows down fault diagnosis, and complicates response to anomalies in runtime behavior.

We propose a middleware software tool written in Python that instruments microservices to: generates a unique identifier for each request; attaches this identifier to logs, metrics, and traces; collects telemetry from all services; forms a unified structure of events related

to a specific request.

The tool enables automatic correlation of telemetry signals without manual data merging. It is designed to integrate with existing observability frameworks and supports scalable telemetry ingestion and correlation. To evaluate the tool's impact on observability effectiveness, we plan to:

- time required to identify the root cause of an error without using the tool;
- time required to identify the root cause with the tool;
- number of steps required for diagnosis;
- completeness of reconstructing the request event chain.

Metrics such as average diagnosis time and the number of manual steps will be analyzed to evaluate effectiveness. The proposed tool is expected to reduce manual effort in RCA by automatically correlating logs, metrics, and traces. This approach provides clearer insight into distributed service interactions and overall system health.

The proposed middleware approach demonstrates a practical strategy for enhancing observability in complex microservice applications by correlating telemetry sources at the request level. This improves system insight, simplifies fault diagnosis, and increases operational efficiency in distributed environments. The approach can also be applied in cloud-native fintech and blockchain-based infrastructures, where reliable telemetry correlation and request traceability are critical for system transparency and diagnostics.

References

1. Usman, M., Ferlin-Reiter, S., Brunstrom, A., & Taheri, J. (2022). *A survey on observability of distributed edge & container-based microservices*. *IEEE Access, 10*, 86904-86919. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193102.

2. Madupati, B. (2023). *Observability in microservices architectures: Leveraging logging, metrics, and distributed tracing in large-scale systems*. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.5076624.

SOFTWARE-DRIVEN INNOVATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION

Olena Surynovych
Lutsk National Technical University, associate professor of the Software Engineering Department, PhD, associate professor, o.sivakovskaya@lutsk-ntu.com.ua
José Mendes Machado
Habilitation, PhD, School of Engineering, Mechanical Engineering Department, University of Minho, Portugal, jmachado@dem.uminho.pt

The rapid development of Industry 4.0 technologies has significantly transformed modern industrial automation systems through the integration of advanced software solutions, intelligent monitoring platforms, and data-driven decision-making tools. Industrial enterprises increasingly implement IoT technologies, cloud computing, artificial intelligence, and real-time analytics to improve production efficiency, operational flexibility, and system reliability. Software engineering approaches play an important role in ensuring interoperability between hardware and software components within complex industrial infrastructures. The integration of intelligent software systems supports predictive maintenance, automated process control, and more efficient management of industrial resources in smart manufacturing environments.

Keywords: Industry 4.0, Industrial Automation, Software Engineering, Smart Manufacturing, Predictive Maintenance.

The digital transformation of industrial enterprises has become one of the key priorities in modern engineering and manufacturing environments. The concept of Industry 4.0 promotes the integration of intelligent technologies, cyber-physical systems, cloud computing, and industrial Internet of Things (IoT) solutions into production infrastructures. These technologies enable industrial organizations to improve communication between devices, automate operational processes, and optimize resource management through continuous data exchange and real-time system monitoring [1]. As industrial

systems become increasingly interconnected and data-oriented, software solutions play a central role in supporting efficient and adaptive automation processes.

Modern industrial automation systems rely not only on hardware infrastructure but also on scalable software architectures capable of processing large volumes of operational and telemetry data. Software-driven innovation enables industrial enterprises to collect, analyze, and visualize information generated by sensors, machines, and distributed industrial devices. The integration of intelligent monitoring platforms and analytical tools allows organizations to detect anomalies, identify operational inefficiencies, and respond more effectively to changing production conditions. Such approaches contribute to reducing downtime, improving equipment utilization, and supporting more sustainable industrial operations [2].

The interaction between intelligent software components and industrial automation infrastructure is illustrated in Figure 1.

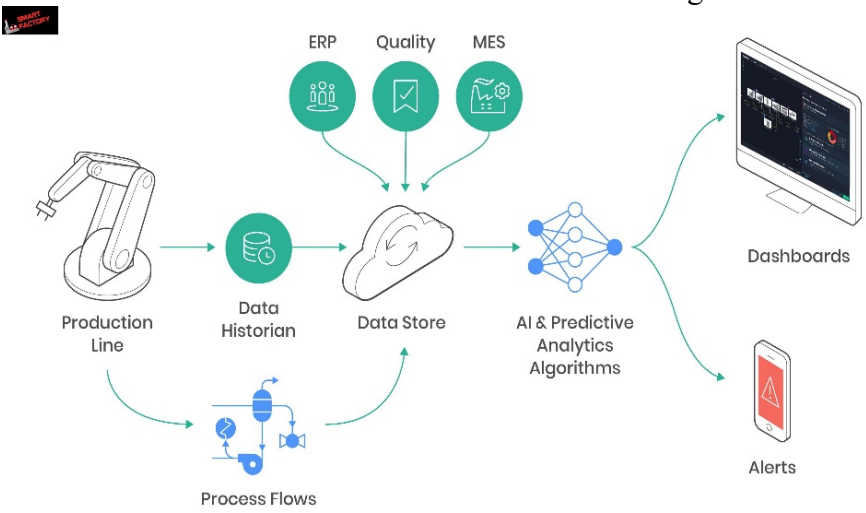


Figure 1. Predictive Maintenance [3]

The proposed conceptual framework demonstrates how software-oriented technologies support monitoring, analytics, predictive maintenance, and intelligent decision-making in modern industrial environments.

An important aspect of software-oriented industrial automation

is the implementation of predictive maintenance strategies. Traditional maintenance approaches are gradually being replaced by intelligent diagnostic systems that use real-time data analysis and machine learning methods to predict equipment failures before critical breakdowns occur. Predictive maintenance systems improve operational reliability by minimizing unexpected interruptions and optimizing maintenance schedules. In addition, automated diagnostics and monitoring tools support better decision-making processes and increase the overall efficiency of industrial production environment [4].

The growing complexity of industrial infrastructures also increases the importance of interoperability between software and hardware components. Modern manufacturing systems often include distributed services, automated controllers, industrial robots, cloud platforms, and edge computing devices that must operate within a unified digital ecosystem. Therefore, software engineering practices such as modular system architecture, scalable communication mechanisms, and continuous integration approaches become highly important for ensuring system stability and adaptability. The combination of automation technologies and software engineering principles supports the development of flexible and resilient industrial systems capable of adapting to dynamic operational requirements.

Another important direction in industrial automation is the use of real-time data visualization and intelligent analytical dashboards. Visualization tools simplify the interpretation of complex industrial data and allow engineers and operators to monitor system performance more effectively. Interactive dashboards and centralized monitoring platforms improve situational awareness and support faster responses to operational anomalies. Such software-oriented approaches help industrial organizations improve process transparency, optimize production workflows, and enhance collaboration between technical specialists and operational managers.

In addition to operational improvements, software-driven industrial automation contributes to the broader development of interdisciplinary engineering solutions. The integration of software engineering, artificial intelligence, automation technologies, and

industrial analytics creates new opportunities for smart manufacturing and digital transformation initiatives. Future research may focus on the development of intelligent industrial ecosystems that combine predictive analytics, autonomous decision-making, and adaptive control mechanisms. These approaches can support the further evolution of sustainable, efficient, and data-driven industrial environments.

References

1. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics, 210*, 15-26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

2. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Khan, S., & Suman, R. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers, 3*, 203-217. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008.

3. Harish Saragadam. (2023, October 25). *Outage Forecast: Predictive maintenance of machinery using regression models for predicting R.E.S.T.* Medium. https://surl.li/mgzuer.

4. Ivanov, D., Tang, C. S., Dolgui, A., Battini, D., & Das, A. (2021). Researchers' perspectives on Industry 4.0: Multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. *International Journal of Production Research, 59*(7), 2055-2078. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1798035.

Секція 3. Комп’ютерна інженерія та апаратно-програмні комплекси

Section 3. Computer Engineering and Hardware-Software Systems

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КВАДРОПЕДНА РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА НА БАЗІ RASPBERRY PI З ВИКОРИСТАННЯМ LLM

Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Поварчук Станіслав Вікторович
Луцький національний технічний університет
здобувач 4-го курсу за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»
Невинний Назар-Ілля Віталійович
Луцький національний технічний університет
здобувач 1-го курсу за спеціальністю «Кібербезпека»

INTELLIGENT QUADROPEDE ROBOTIC PLATFORM BASED ON RASPBERRY PI USING LLM

Hryniuk Serhii Vasylovych
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Povarchuk Stanislav Viktorovych
4th year student in the specialty «Computer Engineering»
Nevynnyi Nazar-Illia Vitaliiovych
1st year student majoring in Cybersecurity

The paper considers an intelligent quadruped robotic platform based on Raspberry Pi with the use of large language models. The development of quadruped robots, the application of single-board computers, the mathematical principles of kinematic control and the engineering challenges of servo synchronization are analyzed. It is shown that the integration of Raspberry Pi, sensor modules, motion algorithms and LLM technologies creates opportunities for building autonomous robotic systems with elements of intelligent interaction.

Keywords: quadruped robot, Raspberry Pi, LLM, kinematics, servo drives, PWM, robotic platform, artificial intelligence

Квадропедні роботизовані системи стали одним із найперспективніших напрямків сучасних досліджень у галузі

робототехніки завдяки їхній винятковій мобільності, здатності до адаптації у складному рельєфі та можливості ефективно функціонувати в неструктурованому середовищі. Історичний розвиток цих платформ пройшов тривалий шлях від суто механічних та гідравлічних систем до високоінтегрованих електромеханічних комплексів, що поєднують складну біомеханіку зі штучним інтелектом. Ранні розробки, такі як платформа HyQ, створена в лабораторії динамічних крокуючих систем (DLS) Італійського технологічного інституту (IIT), покладалися на гідравлічні приводи для забезпечення високого зусилля та стійкості до зовнішніх збурень у ворожих середовищах, таких як зони стихійних лих. Незважаючи на свою потужність, гідравлічні системи характеризувалися високою вартістю, значною вагою та складністю в обслуговуванні. Наступний етап еволюції ознаменувався переходом до високопродуктивних електричних систем, яскравим прикладом яких є розробка MIT Cheetah 3. Використовуючи електродвигуни з високою щільністю крутного моменту та планетарні редуктори, ця платформа дозволила здійснювати тривимірний контроль сил реакції опори виключно через пропріоцепцію, усуваючи потребу у вразливих силових датчиках на стопах. Значне розширення діапазону рухів, зокрема збільшення кутів відведення та приведення (abduction/adduction) до понад 45 градусів, дозволило реалізовувати надзвичайно складні динамічні маневри та стрибки[1].

Зменшення вартості апаратного забезпечення призвело до появи цілого класу дослідницьких квадропедів, які використовують мікроконтролери та доступні одноплатні комп'ютери як основне обчислювальне ядро. Відкриті проєкти, такі як Stanford Pupper, дозволили дослідникам та студентам збирати повноцінні 12-ступеневі роботизовані платформи з бюджетом менше двох тисяч доларів, використовуючи стандартні хобі-сервоприводи, компоненти, надруковані на 3D-принтері, та комп'ютери Raspberry Pi . Комерційні освітні та дослідницькі рішення, такі як Hiwonder PuppyPi, пішли ще далі, запропонувавши інтегровані системи на базі Raspberry Pi 4B або

Raspberry Pi 5. Такі платформи, виготовлені з алюмінієвого сплаву і маючи вагу лише близько 720 грамів, оснащуються вісьмома високопродуктивними безколекторними сервоприводами, інтегрованими системами комп'ютерного зору, LiDAR-сенсорами та модулями голосової взаємодії. Перехід до архітектури на базі одноплатних комп'ютерів кардинально змінив ландшафт досліджень. Доступність недорогих, але потужних платформ стимулювала інновації, дозволяючи інтегрувати складні алгоритми комп'ютерного зору, одночасної локалізації та картографування (SLAM), а згодом – і великі мовні моделі (LLM), зберігаючи при цьому здатність безпосередньо взаємодіяти з низькорівневими апаратними інтерфейсами для управління приводами[2].

Фундаментальною основою здатності квадропедного робота цілеспрямовано пересуватися у тривимірному просторі є його математична кінематична модель. Кінематика описує геометричний зв'язок між простором суглобів (кутами повороту сервоприводів) та простором завдань (координатами кінцевих ефекторів, тобто стоп робота) без урахування сил та мас, що викликають цей рух. Для розрахунку точного положення кожної стопи відносно локальної системи координат корпусу робота використовується пряма кінематика. Найпоширенішим і найсуворішим підходом до побудови рівнянь прямої кінематики є метод Денавіта-Хартенберга (Denavit-Hartenberg). Цей математичний апарат дозволяє систематично описувати просторову геометрію складних відкритих кінематичних ланцюгів кожної з чотирьох ніг за допомогою однорідних матриць трансформації, які враховують довжини ланок, зміщення суглобів та кути їхнього повороту . Однак, для практичного управління рухом, коли система високорівневого планування задає бажану траєкторію руху корпусу або цільові координати постановки ніг, пряма кінематика є недостатньою[3].

Реалізація математичних моделей руху на практиці вимагає прецизійного перетворення розрахованих кутів у фізичні електричні сигнали, що керують приводами робота. Саме на цьому етапі виникають значні інженерні виклики при

використанні одноплатних комп'ютерів типу Raspberry Pi. Стандартна операційна система Linux, навіть у серверних модифікаціях (наприклад, Ubuntu LTS), не є операційною системою жорсткого реального часу (RTOS). Планувальник завдань Linux може непередбачувано переривати процеси для виконання системних процедур, що призводить до нестабільності або так званого джиттеру при програмній генерації сигналів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) через піни GPIO. Для квадропедного робота, де стабільність ходи залежить від ідеальної мілісекундної синхронізації всіх приводів, програмний ШІМ є неприйнятним, оскільки найменша затримка у сигналі призводить до тремтіння сервоприводів та втрати балансу[4].

Список використаних джерел

1. Long-horizon Locomotion and Manipulation on a Quadrupedal Robot with Large Language Models. arXiv.org e-Print archive. URL: https://arxiv.org/html/2404.05291v3 (date of access: 22.03.2026).

2. Raspberry Pi Reference – Stanford Pupper 2021 documentation. Stanford Robotics Independent Study – Stanford Pupper 2021 documentation. URL: https://pupper-independent-study.readthedocs.io/en/latest/reference/rpi-reference.html (date of access: 22.03.2026).

3. How Well Do LLMs Perform on a Raspberry Pi 5? – Stratosphere Laboratory. Stratosphere Laboratory. URL: https://www.stratosphereips.org/blog/2025/6/5/how-well-do-llms-perform-on-a-raspberry-pi-5 (date of access: 22.03.2026).

4. Framework for LLM-Enabled Construction Robot Task Planning: Knowledge Base Preparation and Robot–LLM Dialogue for Interior Wall Painting | MDPI. MDPI. URL: https://www.mdpi.com/2218-6581/14/9/117 (date of access: 22.03.2026).

СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА-ПАТРУЛЯ НА БАЗІ IoT-ТЕХНОЛОГІЙ

Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Поліщук Микола Миколайович
Луцький національний технічний університет
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, polishchuk.kolia@gmail.com
Горалюк Максим Валерійович
Луцький національний технічний університет
здобувач 4-го курсу за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»

NAVIGATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS FOR MOBILE PATROL ROBOT BASED ON IOT TECHNOLOGIES

Hryniuk Serhii
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Polishchuk Mykola
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity, polishchuk.kolia@gmail.com
Horalyuk Maksym
Lutsk National Technical University
4th year student in the specialty «Computer Engineering»

The abstracts consider the features of building a navigation and environment monitoring system for a mobile patrol robot based on IoT technologies. The role of GPS, inertial sensors, SLAM algorithms, environmental sensors and wireless communication modules is analyzed. It is shown that the combination of navigation, sensor and network components allows you to create an autonomous system for monitoring territories, detecting changes in the environment and transmitting data to the user in real time.

Keywords: mobile robot, patrol robot, IoT, navigation, environment monitoring, GPS, SLAM, sensors, wireless

communication.

Стрімкий розвиток робототехніки та технологій Інтернету речей (IoT) сприяє створенню інтелектуальних автономних систем, здатних виконувати складні завдання без безпосереднього втручання людини. Одним із перспективних напрямів є розробка мобільних роботів-патрулів, які застосовуються для моніторингу територій, забезпечення безпеки, контролю стану навколишнього середовища та виконання спеціалізованих завдань у промисловості й інфраструктурі [1,4].

У сучасних умовах підвищених вимог до безпеки та ефективності контролю територій актуальним є створення систем, які здатні не лише фіксувати зміни в середовищі, але й аналізувати отримані дані та передавати їх у режимі реального часу. Використання IoT-технологій дозволяє об'єднати різні апаратні компоненти у єдину інформаційну систему, що забезпечує постійний обмін даними між пристроями, хмарними сервісами та користувачем [4].

Основою функціонування мобільного робота-патруля є система навігації, яка забезпечує його переміщення у просторі. Вона включає визначення координат, орієнтацію у середовищі, планування маршруту та уникнення перешкод. Одним із найпоширеніших методів навігації є використання супутникових систем позиціонування, таких як GPS або GLONASS, які дозволяють визначати місцезнаходження робота з достатньою точністю у відкритому просторі [2].

Однак у закритих приміщеннях або складних умовах сигнал супутникових систем може бути нестабільним або відсутнім. У таких випадках застосовуються альтернативні методи, зокрема інерціальні навігаційні системи, які базуються на використанні акселерометрів та гіроскопів. Вони дозволяють визначати положення та швидкість руху робота шляхом інтегрування виміряних прискорень, що забезпечує автономність роботи навіть без зовнішніх джерел сигналу [3].

Додатково для підвищення точності навігації використовуються алгоритми одночасної локалізації та побудови

карти (SLAM). Вказані алгоритми дозволяють роботу одночасно створювати карту невідомого середовища та визначати своє положення відносно цієї карти. Це особливо важливо для мобільних роботів-патрулів, які працюють у динамічних або незнайомих умовах [2].

Система моніторингу середовища є ще одним ключовим компонентом мобільного робота. Вона включає різноманітні сенсори, які забезпечують збір інформації про навколишнє середовище. До таких сенсорів належать датчики температури, вологості, газів, освітленості, а також ультразвукові або лазерні датчики відстані для виявлення перешкод. Використання комплексу сенсорів дозволяє отримувати повну картину стану середовища та оперативно реагувати на його зміни [1].

Інтеграція сенсорних систем із IoT-технологіями забезпечує передачу даних у режимі реального часу до віддалених серверів або мобільних пристроїв користувачів. Це дозволяє здійснювати постійний моніторинг та аналіз інформації незалежно від місцезнаходження оператора. Крім того, використання хмарних технологій відкриває можливість зберігання великих обсягів даних та їх подальшої обробки із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту [4,5].

Важливою складовою системи є модуль зв'язку, який забезпечує обмін даними між роботом та зовнішніми системами. Найчастіше використовуються бездротові технології, такі як Wi-Fi, GSM або LTE, які дозволяють передавати інформацію на великі відстані. Вибір конкретної технології залежить від умов експлуатації та вимог до швидкості передачі даних [5].

Архітектура мобільного робота-патруля (рис. 1) зазвичай включає кілька основних модулів: обчислювальний блок, сенсорний модуль, навігаційну систему та модуль зв'язку. Обчислювальний блок, реалізований на базі мікроконтролера або одноплатного комп'ютера, здійснює обробку даних, прийняття рішень та керування всіма компонентами системи. Сенсорний модуль забезпечує збір інформації, навігаційний модуль відповідає за переміщення, а модуль зв'язку – за передачу даних [1,4].

Рисунок 1 - Узагальнена структура системи навігації та моніторингу середовища мобільного робота-патруля

Рисунок 1. Система навігації та моніторингу середовища мобільного робота-патруля

Таким чином, системи навігації та моніторингу середовища для мобільного робота-патруля на базі IoT-технологій є ефективним інструментом для забезпечення безпеки та контролю. Поєднання сучасних методів навігації, сенсорних технологій та мережевих рішень дозволяє створювати автономні системи, здатні працювати у складних умовах та забезпечувати оперативне реагування на зміни середовища.

Перелік використаних джерел

1. Аналітичний огляд питань навігації мобільних роботів. URL: https://tit.duikt.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2482 (дата звернення: 28.03.2026).
2. Система навігації мобільного робота при невідомому рельєфі. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72636 (дата звернення: 28.03.2026).
3. Інерціальна навігація мобільних роботів. URL: https://ukrbukva.net/100014-Inercial-naya-navigaciya-mobil-nyh-robotov.html (дата звернення: 28.03.2026).
4. The Penetration of Internet of Things in Robotics: Towards a Web of Robotic Things. URL: https://arxiv.org/abs/2001.05514 (дата звернення: 28.03.2026).
5. Location-Enabled IoT: A Survey of Positioning Techniques. URL: https://arxiv.org/abs/2004.03738 (дата звернення: 28.03.2026).

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

Єрофеєв Юрій Володимирович
Інститут програмних систем Національної академії наук України, аспірант, seo@erofeev.com.ua

PROBLEMS OF AUTOMATED TESTING OF EMBEDDED SOFTWARE

Yurii V Erofeev
Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, PhD student, seo@erofeev.com.ua

This abstract examines the problems of automated testing of embedded software. It is shown that hardware dependence, configuration variability, and the need for early-stage verification significantly complicate testing automation. The proposed perspective is based on combining continuous testing within DevSecTestOps with approaches focused on reuse and managed variability in embedded systems development.

Keywords: embedded systems, automated testing, DevSecOps.

Вступ. Сучасні вбудовані системи характеризуються швидким зростанням функціональної та архітектурної складності. Вони еволюціонують від відносно простих рішень на базі мікроконтролерів до багатокомпонентних програмно-апаратних платформ на базі процесорів, систем на модулі/кристалі (SoM/SoC), розвинених комунікаційних інтерфейсів. Відповідно ускладнюється і програмне забезпечення таких систем. Це зумовлює зростання вимог до якості, надійності та керованості процесів розроблення і тестування.

Постановка проблеми. Особливістю галузі є те, що тестування вбудованого програмного забезпечення істотно залежить від апаратної платформи та повинно супроводжувати виріб на всіх стадіях його зрілості, від прототипу до підготовки масового випуску. У практиці розроблення високо-інтегрованих пристроїв поширеним є поетапне нарощення зрілості продукту

через ревізії, модифікації та адаптації апаратної частини. Додаткову складність створює виробництво великих разових партій через контрактне виробництво і наявність численних конфігурацій на базі стандартних платформ. За таких умов помилки, не виявлені на ранніх етапах тестування, призводять до кратного зростання витрат на виправлення, затримок у виведенні продукту на ринок і підвищення технічних ризиків.

Як показано на рис. 1, для вбудованих систем процес перевірки охоплює не лише програмні тести, а й функціональне, програмно-апаратне та спеціалізоване випробування SoM-модуля в різних умовах експлуатації, що додатково ускладнює його автоматизацію та інтеграцію в єдиний тестовий контур

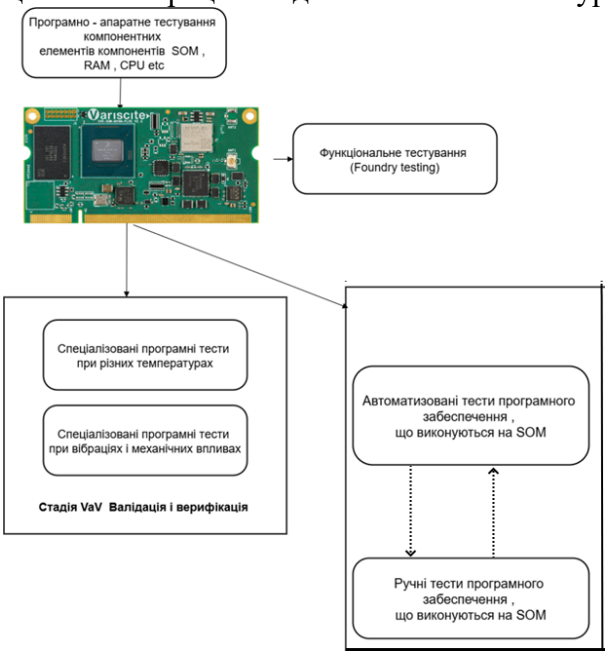


Рисунок 1. Сукупність тестів і перевірок для системи на модулі

На відміну від загального програмного забезпечення, вбудовані програмні засоби функціонують у тісному зв’язку з апаратним середовищем і характеризуються низкою специфічних властивостей: вимогами реального або наближеного до реального часу, використанням спеціалізованих засобів розробки, обмеженістю апаратних ресурсів та значним різноманіттям

інтерфейсів. Це ускладнює побудову універсальних процедур тестування.

Науково-практична проблема полягає в необхідності побудови комплексного й автоматизованого підходу до тестування вбудованих програмних засобів, який враховував би взаємозалежність програмних і апаратних компонентів, багатоваріантність конфігурацій та високу ціну пропущених дефектів. Такий підхід має забезпечувати раннє виявлення помилок, відтворюваність результатів, масштабованість тестових процедур і придатність до застосування на всіх стадіях зрілості вбудованого продукту.

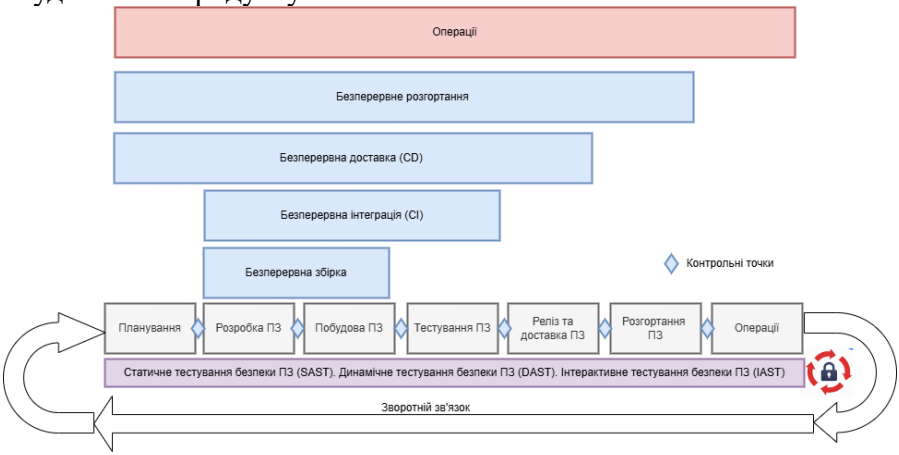


Рисунок 2. Тестування як складова фаза DevSecOps

Сутність дослідження. Шляхом розв'язання проблеми автоматизованого тестування вбудованих програмних засобів є впровадження безперервного тестування в межах підходу DevSecOps та конвеєра CI/CD. Попри наочність узагальненої схеми DevSecOps[1], вона не повною мірою враховує специфіку тестування програмного забезпечення для вбудованих систем, зокрема потребу в перевірках на ранніх етапах життєвого циклу виробу. Для вбудованих систем це зумовлює необхідність врахування апаратних конфігурацій, підтримки тестування різних варіантів платформи [3] та інтеграції перевірок метрик якості й безпеки в єдиний процес. У результаті підвищується відтворюваність тестування, зменшується трудомісткість

супроводу тестів і знижується ризик пропуску критичних помилок.

Висновки. Автоматизоване тестування вбудованих програмних засобів ускладнюється залежністю від апаратної платформи, варіативністю конфігурацій і необхідністю перевірок на ранніх стадіях життєвого циклу виробу. Узагальнений підхід DevSecOps не повною мірою враховує ці особливості, тому для підвищення ефективності тестування доцільно поєднувати його з підходами, орієнтованими на повторне використання та керовану варіативність, зокрема з підходом лінійок програмних продуктів продуктовими конфігураціями та інженерією на основі шаблонів. Це створює підґрунтя для підвищення узгодженості, масштабованості й відтворюваності тестування вбудованих систем.

Предметом подальших досліджень автора є застосування підходу Software Product Lines (SPL) та мікросервісної архітектури для організації автоматизованого тестування вбудованих програмних засобів.

Список використаних джерел

1. U.S. Department of Defense. (2021, March). *DevSecOps fundamentals guidebook: DevSecOps tools & activities* (Version 2.0).

2. Yin, Y., & Jiang, B. (2024). *Embedded software system testing: Automatic testing solution based on formal method* (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003390923

3. Слабоспицька, О. О., & Колесник, А. Л. (2011). *Теоретичні та прикладні засади управління варіабельністю в сімействах програмних систем*. Інститут програмних систем НАН України.

4. Beningo, J. (2022). *Embedded software design: A practical approach to architecture, processes, and coding techniques*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8279

АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ K-НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ (KNN) ТА МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ (PCA) ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ В IOT-МЕРЕЖАХ

Калашник Максим Олександрович
Національний університет «Київський авіаційний інститут»
аспірант, 294776@stud.kai.edu.ua

ANALYSIS OF THE K-NEAREST NEIGHBORS (KNN) ALGORITHM AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) METHOD FOR ANOMALY DETECTION IN IOT NETWORKS

Kalashnyk Maksym Oleksandrovych
National university «Kyiv aviation institute»
PhD student, 294776@stud.kai.edu.ua

This paper explores a hybrid PCA and KNN approach for unsupervised anomaly detection in IoT networks. To overcome the curse of dimensionality, PCA reduces the N-BaIoT dataset's 115 features to two principal components. Using KNN (k=10) on scaled data successfully separates Mirai botnet DDoS attacks from normal traffic. Results validate this method as a robust first-tier network monitoring tool, with potential for further structural optimization using k-NNN.

Keywords: Anomaly Detection, Internet of Things (IoT), K-Nearest Neighbors (KNN), Principal Component Analysis (PCA), Unsupervised Learning, N-BaIoT Dataset, DDoS Attacks

Алгоритм K-найближчих сусідів (KNN) є ефективним інструментом для виявлення аномалій у системах Інтернету речей (IoT), де мережеві відхилення часто вказують на несанкціоновані втручання або збої в роботі обладнання [1]. На відміну від задач класифікації, у неконтрольованому навчанні (unsupervised learning) KNN виявляє аномалії шляхом обчислення відстані від кожної точки даних до її k найближчих сусідів. Точки, які знаходяться на значній відстані від основного кластера нормального трафіку (мають велику середню відстань),

отримують високий «показник аномальності» (anomaly score) і класифікуються як викиди. Для автоматизації цього процесу порогове значення часто встановлюється на основі статистичного розподілу, наприклад, 95-й перцентиль від усіх обчислених відстаней [2].

Практична реалізація алгоритму KNN під час аналізу багатовимірного трафіку IoT-систем ускладнюється високими апаратно-обчислювальними витратами та структурною деградацією простору ознак, відомою як «прокляття розмірності». Для коректної роботи алгоритму на етапі підготовки даних обов'язковим є масштабування (наприклад, за допомогою StandardScaler). Оскільки алгоритм базується на обчисленні відстаней, відсутність масштабування призведе до того, що ознаки з великими числовими діапазонами домінуватимуть над іншими. Крім того, для оптимізації роботи застосовується метод головних компонент (PCA), який дозволяє стиснути велику кількість ознак до кількох основних компонент, зберігаючи дисперсію даних. Це не лише значно прискорює пошук сусідів, але й діє як фільтр для формування простору, де геометрична розбіжність між станом штатного функціонування та аномальним втручанням стає найбільш вираженою.

Дослідження ефективності такого гібридного підходу (PCA + KNN) було проведено на базі датасету N-BaIoT, який містить реальний мережевий трафік IoT-пристроїв (115 ознак на кожен запис), захоплений під час нормальної роботи та під час DDoS-впливів ботнету Mirai [3]. Завдяки зменшенню розмірності до 2 головних компонент за допомогою PCA та використанню моделі NearestNeighbors (де k=10) вдалося чітко розмежувати нормальний трафік та аномальні відхилення. Аномальні сегменти сформували ізольовані скупчення у просторі ознак. Результати симуляції, наведені на рис. 1, підтверджують здатність KNN функціонувати як стійкий інструмент реєстрації аномальних станів мережевих вторгнень першого рівня у складі складніших інформаційно-керуючих систем та засобів системного моніторингу. Для неоднорідних просторів із різною щільністю кластерів архітектуру можна додатково оптимізувати, замінивши

класичний KNN на структурні модифікації, такі як k-NNN (аналіз сусідів сусідів), що краще враховують локальні зв'язки між точками.

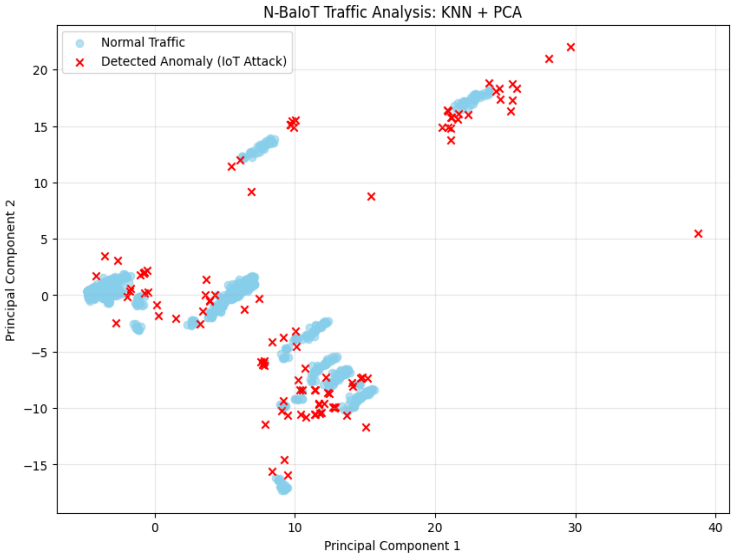


Рисунок 1. Візуалізація результатів виявлення аномалій у мережевому IoT-трафіку (датасет N-BaIoT) за допомогою інтегрованого підходу PCA та KNN

Список використаних джерел

1. Oversampling: a PCA-KNN approach. Towards Data Science. URL:https://towardsdatascience.com/oversampling-a-pca-knn-approach-f392ca232486/

2. Kokdener C. Enhancing K-Nearest Neighbors with PCA: Lessons from our Sports Classification Project. Medium. URL: https://medium.com/@cagilkokdener/enhancing-k-nearest-neighbors-with-pca-lessons-from-our-sports-classification-project-7fb24460797e

3. Meidan Y., Bohadana M., Mathov Y. et al. N-BaIoT — Network-based Anomaly Detection of IoT Botnet Attacks Using Autoencoders. IEEE Pervasive Computing. 2018. Vol. 17, Iss. 3. P. 12-22.

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ГОЛОСОВОГО АСИСТЕНТА

Ломакін Владислав Леонтійович
Луцький національний технічний університет, магістр,
wuradzi@gmail.com
Костючко Сергій Миколайович
Луцький національний технічний університет
к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри кібербезпеки,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF A VOICE ASSISTANT

Lomakin Vladyslav
Lutsk National Technical University, master,
wuradzi@gmail.com
Kostiuchko Serhii
Lutsk National Technical University,
Ph.D., head of the Cybersecurity Department,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua

The paper consider the architectural and algorithmic foundations of creating an autonomous voice assistant. The study proposes a cross-platform pipeline encompassing audio signal capture, feature extraction, natural language understanding, and command execution. Particular emphasis is placed on enhancing acoustic robustness and optimizing intent classification accuracy. The developed hardware-software complex demonstrates high responsiveness and modularity, allowing integration with diverse external APIs without being tied to a specific operating system.

Keywords: voice assistant, natural language processing, speech recognition, human-computer interaction, intent classification, cross-platform architecture.

Активний розвиток систем штучного інтелекту та алгоритмів обробки природної мови зумовив еволюційний перехід від традиційних графічних інтерфейсів до людино-

машинної взаємодії на основі мовлення. Створення автономних віртуальних помічників вимагає вирішення складного комплексу інженерних та обчислювальних задач, пов'язаних із безперервним захопленням звуку, його прецизійним перетворенням на текстовий формат та глибоким семантичним аналізом.

У роботі передбачено розробку архітектурної моделі та програмно-апаратної реалізації кросплатформного голосового асистента, який забезпечує коректну роботу за умов змінної акустичної обстановки та не потребує прив'язки до окремої операційної системи.

Функціонування базового модуля розпізнавання мовлення можна формалізувати як завдання пошуку найбільш імовірної послідовності слів для отриманого аудіосигналу. Якщо подати акустичний вхід як вектор ознак O, то система повинна знайти таку послідовність слів W*, яка максимізує апостеріорну ймовірність згідно з правилом Байєса (1):

$$W^* = \arg\max P(O|W)P(W) \quad (1)$$

де P(O|W) – акустична модель, яка оцінює ймовірність того, що вимовлені звуки відповідають конкретним фонемам; P(W) – мовна модель, яка визначає ймовірність появи саме такої граматичної конструкції у природній мові.

Після успішного транскрибування аудіопотоку система переходить до етапу класифікації інтенцій. Кожній розпізнаній фразі зіставляється певний клас керуючої команди $C \in \{c_1, c_2, ..., c_m\}$. Цей процес реалізується через визначення семантичної близькості між вхідним запитом та набором попередньо визначених шаблонів або за допомогою нейромережевих класифікаторів тексту.

Апаратна складова розробленого комплексу базується на використанні мікрофонних масивів та алгоритмів первинного придушення відлуння, що суттєво підвищує чистоту вектора ознак. Програмна ж архітектура побудована за строгим модульним принципом і має в собі:

1. Підсистему активації, яка працює в режимі мінімального споживання ресурсів і постійно очікує на ключову

фразу.

2. Блок буферизації, який відповідає за тимчасове зберігання та передачу аудіопотоку до ядра розпізнавання без втрати перших мілісекунд мовлення.

3. Диспетчер завдань, який на основі визначеної інтенції ініціює виклик відповідних скриптів, взаємодіє з системними процесами або відправляє запити до зовнішніх вебсервісів.

Спроектована архітектура забезпечує високий рівень абстракції. Завдяки застосуванню незалежних від платформи фреймворків та бібліотек, комплекс легко розгортається на будь-якому обладнанні – від одноплатних комп'ютерів до повноцінних робочих станцій.

Результати тестувань підтверджують високу швидкість обробки голосових запитів та стійкість системи до фонових шумів середньої інтенсивності. Запропоноване рішення є повноцінним базисом для створення корпоративних віртуальних помічників або інтеграції в екосистеми «розумного дому», оскільки модульність дозволяє гнучко масштабувати функціонал шляхом додавання нових керуючих плагінів.

Список використаних джерел

1. Jurafsky D., Martin J. H. (2023). Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. Stanford University.

2. Hannun A., Case C., Casper J., et al. (2014). Deep Speech: Scaling up end-to-end speech recognition. arXiv. DOI: 10.48550/arXiv.1412.5567.

АДАПТИВНИЙ МЕТОД ЗЛИТТЯ ДАНИХ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ ДЕГРАДАЦІЇ МЕМС-ГІРОСКОПІВ У СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ БПЛА

Музиченко Адріан Олександрович
Національний університет «Львівська політехніка», аспірант, студент кафедри СКС, adrian.o.muzychenko@lpnu.ua
Дунець Роман Богданович
Національний університет «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор кафедри СКС, roman.b.dunets@lpnu.ua

ADAPTIVE DATA FUSION METHOD FOR COMPENSATING MEMS GYROSCOPE DEGRADATION IN UAV NAVIGATION SYSTEMS

Adrian O. Muzychenko
Lviv Polytechnic National University, Ph.D. Student at the Department of Specialized Computer Systems, adrian.o.muzychenko@lpnu.ua
Roman B. Dunets
Lviv Polytechnic National University, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Specialized Computer Systems, roman.b.dunets@lpnu.ua

This paper presents an adaptive biased weighted least squares (AB-WLS) data fusion method for fault-tolerant UAV navigation using low-cost MEMS gyroscopes. Leveraging a bias-variance trade-off and residual-aware weighting, AB-WLS continuously suppresses "soft" faults without resource-intensive FDI. The algorithm achieves linear computational complexity, making it ideal for embedded microcontrollers. Simulations demonstrate a 32.4 dB RMSE reduction compared to standard WLS, with a reaction time under 0.5 s.

Keywords: inertial navigation, MEMS gyroscopes, fault tolerance, soft faults, adaptive estimation.

Жорсткі SWaP-обмеження БПЛА малого та середнього класів роблять МЕМС-сенсори безальтернативним вибором для систем інерціальної навігації. Для компенсації їхнього

стохастичного шуму та нестабільності зміщення традиційно застосовують апаратне резервування - об'єднання масиву сенсорів у точніший «віртуальний гіроскоп» [1]. Проте класичні незміщені алгоритми злиття даних (WLS, фільтри Калмана) вразливі до «м'яких» відмов. Через «ефект маскування» поступова деградація сенсора спотворює спільну оцінку, заважаючи системі ідентифікувати аномалію. Відомі рішення для цієї проблеми (алгоритми FDI, гібридні федеративні архітектури [2]) мають високу математичну складність та використовують жорстку порогову логіку відкидання даних, що є неоптимальним для бортових систем з обмеженими ресурсами.

У зв'язку з цим пропонується альтернативний підхід до забезпечення відмовостійкості - метод адаптивного злиття даних (AB-WLS), який використовує контрольоване зміщення (bias-variance trade-off) для безперервного придушення похибок від деградованих МЕМС-сенсорів. Запропонований фреймворк дозволяє миттєво реагувати на «м'які» відмови без необхідності застосування ресурсомістких блоків FDI, що робить його оптимальним рішенням для бортових мікроконтролерів БПЛА. Для розв'язання задачі розглядається надлишкова інерціальна вимірювальна підсистема, що складається з масиву N ідентичних МЕМС-гіроскопів[3]. Вимірювання i-го датчика в момент часу t моделюється як сума істинної кутової швидкості $\omega_{true}(t)$, повільно змінного дрейфу зміщення $b_i(t)$ (який репрезентує поступову деградацію сенсора) та стохастичного білого гауссівського шуму $n_i(t)$. Для врахування зміни шумових характеристик під дією вібрацій та температурних коливань на борту БПЛА, дисперсія цього шуму розглядається як нестаціонарна:

$$y_i(t) = \omega_{true}(t) + b_i(t) + n_i(t)$$

Щоб уникнути впливу деградованих сенсорів на еталонну оцінку, замість середнього арифметичного використовується вибіркова медіана вимірювань: $\omega_{ref}(t) = median\big(y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)\big)$. Медіана характеризується високою точкою зриву та обмеженою функцією впливу. З теоретичної точки зору, цей еталон зберігає стійкість доти, доки

кількість несправних сенсорів не перевищує 50% від їх загальної кількості. Таким чином, для масиву з п'яти датчиків ($N = 5$) система здатна безперервно компенсувати одночасні аномалії щонайбільше двох сенсорів, що є достатнім для переважної більшості експлуатаційних сценаріїв БПЛА. Миттєвий залишок кожного гіроскопа відносно робастного еталона обчислюється як$r_i(t) = y_i(t) - \omega_{ref}(t)$. Для врахування температурних коливань та вібраційного впливу на МЕМС-сенсори, дисперсія залишків оцінюється рекурсивно за допомогою експоненційного згладжування з коефіцієнтом забування α:

$$\sigma_i^2(t) = \alpha\sigma_i^2(t-1) + (1-\alpha)r_i^2(t)$$

Ключова інновація методу AB-WLS (Residual-Aware Weighting) полягає у відмові від суворої незміщеності на користь мінімізації загальної середньоквадратичної похибки (MSE). Ненормована вагова функція $w_i(t)$ для i-го сенсора формується з урахуванням штрафу за відхилення від еталона:

$$w_i(t) = \frac{1}{\sigma_i^2(t) + \lambda r_i^2(t)},$$

де $\lambda > 0$ - параметр регуляризації. За малих значень $r_i(t)$ (номінальний режим) формула наближається до класичного WLS. Проте при виникненні лінійного дрейфу або зростанні шумів знаменник стрімко збільшується, що призводить до безперервного та плавного зниження ваги деградованого каналу без застосування порогових алгоритмів ізоляції (FDI). Остаточна оцінка кутової швидкості є лінійною комбінацією вимірювань з нормованими вагами. Усі операції алгоритму масштабуються лінійно $O(N)$ та вимагають переважно простих скалярних арифметичних розрахунків. Відсутність необхідності обернення коваріаційних матриць робить цей метод ідеальним для реалізації в режимі реального часу на бортових мікроконтролерах. Загальна послідовність етапів обробки даних за запропонованим методом (рис. 1).

Для емпіричної перевірки ефективності запропонованого методу було проведено серію симуляцій методом Монте-Карло. Досліджувалась віртуальна інерціальна вимірювальна підсистема (ІВП), що складалася з п'яти ідентичних МЕМС-гіроскопів ($N =$

5), які вимірювали одну складову кутової швидкості. У модельному сценарії в один із гіроскопів було введено лінійний дрейф зміщення (починаючи з $t = 20$с). Цей тип деградації є найбільш небезпечним для класичних систем, оскільки він не супроводжується миттєвими стрибками дисперсії, що дозволяє аномалії тривалий час залишатися непоміченою. Результати симуляції виявили критичну вразливість стандартного незміщеного методу WLS: через ефект маскування деградований сенсор зберігав високу вагову частку, що призвело до дивергенції оцінки та стрімкого накопичення похибки.

Рисунок 1. Схема етапів обробки вимірювань методом AB-WLS

Натомість розроблений алгоритм AB-WLS продемонстрував високу швидкодію та адаптивність: час реакції методу на момент виникнення лінійного дрейфу склав менше

0.5с. Це свідчить про здатність системи миттєво адаптуватися до деградації без використання затримок, притаманних блокам FDI.

Під час дії лінійного дрейфу алгоритм обмежив зростання середньоквадратичної похибки (RMSE) до рівня 0.039 °/с, тоді як для стандартного WLS цей показник сягнув 1.492 °/с. Завдяки адаптивному регулюванню ваг на основі залишків, вплив деградованого каналу був придушений з ефективністю 32.4 дБ. Свідоме введення контрольованого зміщення (штрафний параметр $\lambda = 2$) призвело до маргінального збільшення RMSE у стабільних умовах - лише на ~3% порівняно з оптимальною незміщеною оцінкою. Така втрата точності є статистично незначущою для практичних задач бортової навігації та повністю виправдовується отриманим рівнем відмовостійкості. Доведено, що свідома відмова від класичної парадигми незміщеного оцінювання дозволяє ефективно вирішити проблему «м'яких» відмов. Відсутність необхідності застосовувати жорстку логіку ізоляції відмов (FDI) та матричні обчислення робить метод AB-WLS обчислювально легким, що дозволяє інтегрувати розроблений фреймворк безпосередньо у вбудовані мікроконтролерні платформи бортових інерціальних навігаційних систем БПЛА з жорсткими обмеженнями на обчислювальні ресурси.

Список використаних джерел

1. Liu, X., Wang, Y., & Chen, Z. (2024). A Review on the Inertial Measurement Unit Array of Microelectromechanical Systems. Sensors, 24(22), 7140. https://doi.org/10.3390/s24227140.

2. Negru, S. A., Geragersian, P., Petrunin, I., & Guo, W. (2024). Resilient Multi-Sensor UAV Navigation with a Hybrid Federated Fusion Architecture. *Sensors*, 24(3), 981. https://doi.org/10.3390/s24030981.

3. Du, B., Shi, Z., Song, J., & Han, L. (2019). A Fault-Tolerant Data Fusion Method of MEMS Redundant Gyro System Based on Weighted Distributed Kalman Filtering. Micromachines, 10(5), 278. https://doi.org/10.3390/mi10050278.

АРХІТЕКТУРА ТА СИСТЕМНІ МЕХАНІЗМИ КЕРУВАННЯ КАМЕРОЮ В ANDROID

Приходько Ігор Миколайович
Рівненський державний гуманітарний університет, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Комп'ютерні науки», nightquesttg@gmail.com
Ляшук Тарас Григорович
Рівненський державний гуманітарний університет, старший викладач кафедри інформаційних технологій та моделювання, кандидат фізико-математичних наук, taras.liashuk@rshu.edu.ua

ARCHITECTURE AND SYSTEM MECHANISMS OF CAMERA CONTROL IN ANDROID

Prykhodko Ihor Mykolaiovych
Rivne State University of the Humanities, Bachelor's Degree Applicant in Computer Science, nightquesttg@gmail.com
Liashuk Taras Hryhorovych
Rivne State University of the Humanities, Senior Lecturer at the Department of Information Technology and Modeling, Ph.D. in Physics and Mathematics, taras.liashuk@rshu.edu.ua

The paper analyzes the architectural features of the Android camera subsystem, specifically the role of the Camera Hardware Abstraction Layer (HAL) in overcoming mobile device fragmentation. A hierarchical model of interaction between the Application Framework, Camera Service, and hardware modules via the HIDL interface is examined. Particular attention is paid to the principles of the modern CaptureRequest pipeline, stream data processing mechanisms through the Image Signal Processor (ISP), and resource lifecycle management strategies. It is substantiated that such a structure ensures high performance, multitasking of image output, and system stability when implementing complex multimedia algorithms.

Keywords: Android Camera Stack, Camera HAL, CameraX, image processing pipeline, ISP, CaptureRequest, resource lifecycle.

Програмно-апаратний стек камери в операційній системі

Android класифікується як один із найбільш складних та ресурсомістких сегментів графічного стека. Це зумовлено критичною потребою в забезпеченні високої пропускної здатності при обробці багатопотокових масивів візуальних даних у режимі реального часу. Сучасна реалізація базується на багаторівневій ієрархічній структурі [1], яка виконує роль гнучкого інтерфейсу між прикладним програмним забезпеченням та специфічними апаратними модулями.

Фундаментальним елементом цієї моделі є Camera Hardware Abstraction Layer (HAL). Починаючи з версії Android 9, архітектура базується на стандарті HIDL (HAL Interface Definition Language), що дозволяє відокремити життєвий цикл оновлення системних компонентів від пропрієтарних драйверів виробників обладнання. Стандартизація інтерфейсів HAL гарантує, що незалежно від оптичної конструкції чи типу сенсора (Samsung, OmniVision тощо), системний каркас отримує уніфікований вихідний потік. Це вирішує проблему апаратної фрагментації, оскільки розробникам надається єдиний високорівневий протокол взаємодії, що нівелює необхідність впровадження окремих алгоритмів під кожен конкретний пристрій.

Структурна взаємодія компонентів системи реалізується через чітко визначені рівні:

– Application Framework – верхній ешелон архітектури, що надає API (CameraManager та CameraDevice) для ініціалізації сесій та управління логікою вибору об'єктивів (ширококутних, телеоб'єктивів тощо) у сучасних багатокамерних системах;

– Camera Service – проміжний ланцюг, що виконує роль централізованого диспетчера запитів. Він координує права доступу, запобігаючи конфліктам між процесами, та забезпечує трансляцію параметрів конфігурації між фреймворком і шаром абстракції.

– Camera HAL – низькорівневий шар, відповідальний за безпосередню трансляцію команд у інструкції драйверів. Саме тут відбувається динамічне налаштування параметрів 3A та розподіл буферів пам'яті для вихідних кадрів.

Сучасна парадигма функціонування камери базується на

моделі потокових запитів (CaptureRequest pipeline). На відміну від застарілих систем, де камера розглядалася як пристрій зі стаціонарними станами, сучасний конвеєр працює за принципом обробки кожного окремого кадру через спеціалізований мікропроцесор – Image Signal Processor (ISP). На цьому етапі виконуються складні математичні операції: дебайєризація, шумозаглушення тощо.

Результатом роботи конвеєра є формування паралельних незалежних потоків виводу (Streams). Архітектура дозволяє одночасно спрямовувати дані на різні поверхні (Surfaces):

– Preview Stream – потік низької роздільної здатності для візуалізації в реальному часі;

– Capture Stream – потік максимальної якості для кодування у формати стиснення (напр., JPEG);

– Analysis Stream – окремий канал для аналітичних алгоритмів, комп'ютерного зору або нейромережевих моделей.

Окрему увагу в архітектурі приділено управлінню життєвим циклом ресурсів. Оскільки модуль камери та механізми оптичної стабілізації є енергоємними компонентами, система суворо регламентує стани живлення апаратних складових. Використання об'єкта CameraCaptureSession дозволяє динамічно змінювати конфігурацію сенсора, проте ОС вимагає обов’язкового вивільнення ресурсів при деактивації застосунку. Такий підхід запобігає перегріву пристрою, оптимізує енергоспоживання та гарантує стабільність користувацького досвіду (UX) у складних мобільних рішеннях.

Список використаних джерел

1. Rodríguez, G.S. (2005). Thriving in Android Development Using Kotlin: A project-based guide to using the latest Android features for developing production-grade apps. Packt Publishing. Retrieved from https://www.scholarvox.com/catalog/book/88958322?_locale=en.

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВЕНДИНГОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБАМИ IOT-МОНІТОРИНГУ

Руснак Роман
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
аспірант кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки,
rusnak.roman@chnu.edu.ua

DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF VENDING EQUIPMENT USING IOT MONITORING

Roman Rusnak
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD Student at the Department of Radio Engineering and Information Security,
rusnak.roman@chnu.edu.ua

The paper proposes an IoT-based monitoring system for diagnostics of commercial vending machines. Hall-effect sensors, current transformers, vibration sensors and passive controller interface interception are used for signal acquisition. A multi-stage processing method including Fourier transform spectral analysis, Isolation Forest anomaly detection with SHAP interpretability and Random Forest fault classification is described, targeting predictive maintenance.

Keywords: IoT, monitoring, predictive maintenance, signal processing, vending equipment.

Зростання кількості вендингового обладнання вимагає підвищення надійності та швидкого реагування на збої в його роботі. Вбудовані методи діагностики у такому обладнанні відображають лише коди помилок на дисплеї або загальний опис несправностей, які стають доступними вже після поломки. Більшість відмов мають поступовий розвиток, який супроводжується характерними сигнатурами сигналів, що дають можливість виявляти їх на ранніх етапах засобами моніторингу.

Як об'єкт дослідження обрано Schaerer Coffee Art Plus, яка являє собою комерційну суперавтоматичну кавомашину. Обладнання такого типу є мехатронною системою з

взаємопов'язаними тепловими, електричними та гідравлічними блоками. Електромеханічна частина включає колекторні та асинхронний двигуни з характерними струмовими профілями, два бойлери з ТЕНами і термісторним контролем температури та імпульсний витратомір.

Кожна несправність вузла проявляється як комбінація відхилень у просторі ознак, тобто як сигнатура несправностей.

Для зняття даних струму колекторних двигунів пропонується застосовувати давачі на ефекті Холла. Реєстрацію вібрації асинхронного двигуна помпи передбачається здійснювати за допомогою трансформатора струму та MEMS акселерометра [1]. Величина струму ТЕНів вимірюється також з використанням трансформатора. Сигнали витратоміра та рівня води надходять безпосередньо до edge-пристрою. Температурні дані бойлерів будуть отримуватись зі штатного інтерфейсу RS-232 контролера машини.

Зібрані сигнали проходять послідовну обробку: спочатку на edge-пристрої, а потім у діагностичному сервісі. На edge-пристрої виконується первинна фільтрація даних із давачів методом ковзного середнього, а також базове виділення ознак, зокрема: підрахунок імпульсів витратоміра, визначення дискретного стану давача рівня та формування базової статистики сигналів від давачів струму. Оброблені дані передаються до хмарної частини системи, де першим етапом визначається поточний стан машини на основі вхідного вектора активних ознак. На основі цього формується багатовимірний вектор діагностичних ознак з усіх каналів. Як приклад, для частотного аналізу вібраційних сигналів помпи застосовується метод перетворення Фур'є:

$$X(k) = \Sigma\, x(n) \cdot exp(-j2\pi kn/N),\ n = 0, \ldots, N-1\ .$$

Однією з головних ознак вектора діагностичних ознак є енергія споживання за цикл.

Сформований вектор подається на вхід моделі Isolation Forest, яка формує чисельну оцінку відхилень від норми для поточного стану машини. Моніторинг динаміки цієї оцінки в часі є одним з ключових інструментів предиктивної діагностики обладнання, який показує міру деградації вузлів при поступовому

зростанні, що може свідчити про критичний стан блоку. Для інтерпретації результатів моделі використовується метод пояснення на основі значень Шеплі (SHAP), який визначає внесок кожної ознаки у підсумкову оцінку та дозволяє системі вказувати на конкретні сигнали, що її зумовлюють. [2]. Після накопичення бази змодельованих несправностей класифікатор Random Forest визначає тип несправності на основі відповідності поточної сигнатури еталонним зразкам несправних станів [3].

Запропонована система реалізує чотирирівневу edge-to-cloud архітектуру (рис. 1), яка включає в себе рівень збору сигналів, рівень передачі, рівень ШІ-обробки, рівень візуалізації та сповіщень.

На рівні збору edge-пристрій виконує аналого-цифрове перетворення вхідних сигналів, підрахунок імпульсів витратоміра, зчитування дискретних входів та прийом температурних значень з лінії RS-232, початкову фільтрацію і виділення базової статистики.

Рисунок 1. Блок-схема IoT моніторингу

Передача від edge-пристрою здійснюється за допомогою MQTT на платформу ThingsBoard. ШІ-обробка виконується як діагностичний сервіс на базі Python scikit-learn у хмарному середовищі. Діагностичний сервіс отримує дані через MQTT, визначає поточний стан машини, виконує аналіз зібраних даних та формує багатовимірний вектор ознак з усіх каналів, виявляє аномалії моделлю Isolation Forest та класифікує несправності моделлю Random Forest. Результат діагностики повертається у

ThingsBoard, котрий показує динаміку стану вузлів у вигляді графіків.

Запропоноване IoT-рішення може забезпечити безперервний дистанційний моніторинг обладнання без участі людини. Розподіл обчислень між edge-пристроєм та хмарним діагностичним сервісом дозволяє зменшити навантаження на канал передачі та знизити затримку первинної обробки. Двошарова архітектура визначення стану машини та діагностика сигнатур дозволить знизити ймовірність хибних спрацьовувань, а відстеження тренду anomaly score забезпечує предиктивну складову системи.

Список використаних джерел

1. Mohd Ghazali, M. H., & Rahiman, W. (2021). Vibration analysis for machine monitoring and diagnosis: A systematic review. *Shock and Vibration*, 2021, 9469318. https://doi.org/10.1155/2021/9469318

2. Zhao, W., Huang, X., Ding, J., & Zhang, Y. (2024). Research on milling machine predictive maintenance based on machine learning and SHAP analysis in intelligent manufacturing environment. https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.01205

3. Potharaju, S., Tirandasu, R. K., Tambe, S. N., Jadhav, D. B., Kumar, D. A., & Amiripalli, S. S. (2025). A two-step machine learning approach for predictive maintenance and anomaly detection in environmental sensor systems. *MethodsX*, 14, 103181. https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103181

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ

Хвищун Денис
Державний університет «Люблінська політехніка», здобувач вищої освіти, спеціальність «Інформатика», гр.6.8, Denycxbu06@gmail.com

FEATURES OF DEVELOPING A MOBILE APPLICATION FOR REMOTE CONTROL OF A SMART HOME

Denys Khvyshchun
Lublin University of Technology, higher education student, specialty "Computer Science", group 6.8, Denycxbu06@gmail.com

Modern smart home systems are actively integrated into IoT infrastructure and provide automation of household processes, energy efficiency, and remote device control. This paper examines the development process for a mobile application that remotely controls Smart Home components using MQTT, a REST API, and cloud infrastructure. The system architecture was analyzed, client-server interaction was implemented, and the application's real-time performance was evaluated.

Keywords: Smart Home, IoT, MQTT, Flutter, mobile application, REST API.

У сучасному світі розвиток технологій Інтернету речей (IoT) сприяє широкому впровадженню систем автоматизації житлових приміщень. Одним із ключових напрямів є створення мобільних застосунків для керування освітленням, кліматичними системами, сенсорами безпеки та іншими компонентами Smart Home [1]. Використання мобільних платформ забезпечує користувачу можливість дистанційного моніторингу та оперативного керування пристроями через мережу Інтернет.

Для реалізації системи було обрано кросплатформний підхід із використанням Flutter, що дозволяє створювати застосунки для Android та iOS із єдиною кодовою базою.

Серверна взаємодія реалізована через REST API та MQTT-протокол, який забезпечує передачу повідомлень у режимі реального часу з мінімальними затримками [2]. На рисунку 1 подано структурну схему системи віддаленого керування розумним будинком.

Рисунок 1. Структурна схема системи Smart Home

Система складається з мобільного застосунку, MQTT-брокера, серверної частини та IoT-пристроїв на базі ESP32 або Raspberry Pi. Мобільний застосунок виконує роль клієнта, який надсилає команди керування та отримує телеметричні дані від сенсорів.

Для забезпечення стабільної роботи системи було використано MQTT-протокол, який підтримує архітектуру publish/subscribe. Основною перевагою MQTT є низьке навантаження на мережу та підтримка QoS-механізмів [3]. Для порівняння сучасних протоколів передачі даних у таблиці 1 наведено їх основні характеристики.

Під час розроблення застосунку значна увага приділялась інформаційній безпеці. Для захисту даних використано TLS/HTTPS, JWT-аутентифікацію та Firebase Authentication. Передавання команд до IoT-пристроїв здійснюється лише після перевірки токена доступу.

Таблиця 1. Порівняння протоколів передачі даних у системах Smart Home

Протокол	Тип передачі	Переваги	Недоліки
MQTT	Publish/Subscribe	Низька затримка, QoS	Потребує брокера
HTTP/REST	Request/Response	Простота реалізації	Висока затримка
WebSocket	Постійне з'єднання	Реальний час	Складність налаштування
CoAP	UDP	Енерго-ефективність	Обмежена підтримка

На рисунку 2 подано схему взаємодії користувача із серверною частиною та IoT-пристроями.

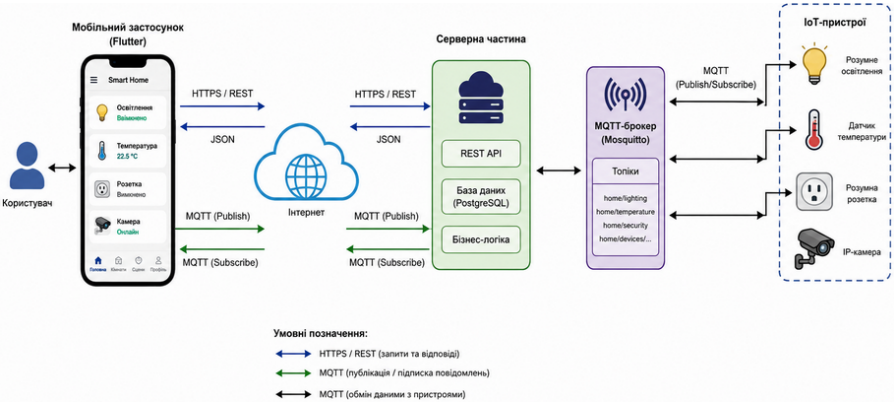


Рисунок 2. Схема взаємодії мобільного застосунку з IoT-пристроями

Розроблений застосунок підтримує:
– авторизацію користувачів;
– моніторинг параметрів у реальному часі;
– керування освітленням та реле;
– формування сценаріїв автоматизації;

– отримання push-повідомлень про стан системи.

Експериментальні дослідження показали, що середній час передавання MQTT-повідомлення у локальній Wi-Fi мережі становить 45–80 мс, що забезпечує комфортне керування пристроями в режимі реального часу. Навантажувальне тестування підтвердило стабільність роботи системи при одночасному підключенні декількох IoT-вузлів.

Отже, розроблений мобільний застосунок забезпечує ефективне дистанційне керування системою «розумного будинку», підтримує роботу в реальному часі та може бути масштабований для інтеграції з іншими IoT-платформами. Використання Flutter та MQTT дозволило забезпечити високу швидкодію, зручність користування та гнучкість архітектури [4–6].

Список використаних джерел

1. Alaa M., Zaidan A. A., Zaidan B. B. et al. A review of smart home applications based on Internet of Things // *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. Vol. 97. P. 48-65.

2. Banks A., Gupta R. MQTT Version 5.0. *OASIS Standard*. 2019. URL: https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html.

3. Alotaibi N. S. et al. Secure Enhancement for MQTT Protocol Using Distributed Machine Learning Framework // *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 5. Art. 1638.

4. Google Developers. Flutter Documentation. 2025. URL: https://docs.flutter.dev/.

5. Firebase Documentation. Authentication and Realtime Database. 2025. URL: https://firebase.google.com/docs.

6. Home Assistant Documentation. Smart Home Architecture. 2025. URL: https://www.home-assistant.io/.

DEVELOPMENT OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR REAL-TIME SENSOR DATA PROCESSING

Brechko Veronika
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department of Computer Engineering and Programming,
Veronika.Brechko@khpi.edu.ua

This paper presents the development of a hardware-software complex for real-time data acquisition and processing from sensor devices. A system architecture is proposed, including hardware, data processing, and user interface layers. Methods of data transmission, computational optimization, and reliability assurance are analyzed. Special attention is given to system performance and scalability.

Keywords: hardware-software complex, sensors, real-time processing, IoT, microcontroller, scalability, data processing.

In modern conditions of rapid development of information technologies and embedded systems, the role of hardware-software complexes designed for real-time data processing is significantly increasing [1]. Such systems are widely used in industry, healthcare, transportation, environmental monitoring, and other fields where timely data acquisition and analysis are critical.

The purpose of this work is to develop a hardware-software complex for collecting, transmitting, and processing data from sensor devices in real time. The main requirements for the system include high performance, reliability, and scalability.

The proposed system consists of several main layers: data acquisition, data processing, and data presentation. The data acquisition layer includes sensor devices that measure various environmental parameters such as temperature, pressure, humidity, and light intensity. Sensors can be either analog or digital, which determines the method of their integration into the system.

Data acquisition is performed using microcontrollers that carry out primary signal processing. At this stage, noise filtering, data normalization, and preparation for transmission are performed. The

use of microcontrollers reduces the computational load on the central processing unit [2].

Data transmission between system components is carried out through wired or wireless communication channels. Common technologies include Wi-Fi, Bluetooth, and ZigBee. Communication protocols such as MQTT and HTTP are used to ensure efficient interaction between devices [1].

The data processing layer can be implemented either on a local server or in a cloud environment. Local processing ensures minimal latency, which is essential for real-time systems. Cloud-based solutions provide scalability and the ability to process large volumes of data [3].

Special attention is given to data processing optimization. Stream processing algorithms are used to analyze incoming data continuously without delays. This approach enables the system to respond quickly to changes in environmental conditions.

The user interface is an important component of the system, as it provides interaction between the user and the complex. It can be implemented as a web-based or desktop application that visualizes data in the form of graphs, tables, or notifications.

System reliability is achieved through the use of error handling mechanisms, redundancy, and data integrity control. Monitoring tools are also implemented to detect and resolve system failures in a timely manner.

Data security is ensured by using cryptographic methods such as SSL/TLS. These mechanisms protect information from unauthorized access and ensure secure communication between system components [4].

Scalability is another important characteristic of the system. The proposed architecture allows the integration of new sensors and processing nodes without significant changes to the overall structure. This is particularly important for large-scale distributed systems.

A promising direction for further development is the integration of machine learning techniques. These methods can be used for predictive analysis, anomaly detection, and intelligent decision-making based on sensor data [5].

This paper presents the development of a hardware-software complex for real-time sensor data processing. A system architecture ensuring high performance, reliability, and scalability has been proposed.

The study demonstrates that modern technologies enable the creation of efficient monitoring and control systems. Future research may focus on improving data processing algorithms and integrating intelligent analytical methods.

References

1. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2023.

2. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises // Business Horizons. – 2022.

3. Botta A., De Donato W., Persico V., Pescapé A. Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A Survey // Future Generation Computer Systems. – 2023.

4. Sicari S., Rizzardi A., Grieco L. A., Coen-Porisini A. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead // Computer Networks. – 2022.

5. Zhang Y., Chen X., Li L. Machine Learning in Internet of Things: A Survey // IEEE Access. – 2024.

OPTIMIZING RADAR DATA PROCESSING AND DISPLAY THROUGH HYBRID ASSOCIATION AND MULTI-BUS SOC HARDWARE ACCELERATION

Vitaliy Kariagin
Lviv Polytechnic National University,
PhD student, Department of Specialized Computer Systems,
vitalii.o.kariahin@lpnu.ua

This paper presents a unified framework integrating hybrid radar tracking with high-performance multi-bus System-on-Chip (SoC) architectures. The association logic dynamically alternates between Joint Probabilistic Data Association (JPDA) and Multiple Hypothesis Tracking (MHT) based on statistical innovation and cluster complexity to maximize tracking robustness. Adaptive state estimation is achieved through a Variable-Structure Interacting Multiple Model (VS-IMM) filter. For real-time display, the framework utilizes dual and triple-bus SoC designs with dedicated DSP and GPU acceleration to handle parallel sensor fusion and complex symbology rendering. This approach delivers a low-latency, scalable architecture for next-generation avionics.

Keywords: radar tracking, JPDA, MHT, System-on-Chip, Multi-bus architecture, Avionics display systems.

Modern radar architectures have transitioned from purely analog mechanisms to sophisticated digital pipelines that integrate robust microwave hardware with computationally intensive algorithms to maintain situational awareness. Particularly in airborne environments, radar systems must distinguish genuine targets against shifting backgrounds and dense environmental clutter [1]. Maintaining continuous and accurate target trajectories remains one of the primary challenges of radar data processing. This challenge is increasingly addressed by System-on-Chip (SoC) architectures that provide improved computational efficiency and support the low-latency processing requirements necessary for real-time tracking, adaptive filtering, and sensor fusion.

The physical sequence of a radar system begins with the digital

synthesis of foundational signal characteristics, such as frequency modulation and pulse width, which are generated at low power before being up-converted and amplified to generate the electromagnetic energy required to illuminate distant targets. Faint analog echoes captured by the receiver are filtered, amplified using low-noise amplifiers, and down-converted before an analog-to-digital converter (ADC) transforms the continuous analog waveform into discrete numerical samples to preserve the signal's dynamic range for heavy mathematical processing. Upon digitization, signal processors apply pulse compression to maximize range resolution and Doppler processing to enhance the target's echo against ambient noise. For airborne systems, these processes are essential to compensate for shifting ground clutter and the aircraft's own motion, which otherwise limit the detection of slow-moving targets and increase the complexity of signal interpretation.

Optimized digital data is then transferred to the data processing phase, where modern airborne systems utilize a joint detection and tracking (JDT) framework to establish a bidirectional feedback loop between the detector and the tracker [2]. This configuration prevents the severe degradation found in traditional one-way data flows by resolving measurement origin uncertainty through advanced probabilistic formulations and data association. Recursive estimation algorithms, such as the Kalman filter and its non-linear variants, update the target's kinematic state, including position, velocity, and heading [3]. Finally, advanced trackers integrate dynamic object tracking with trajectory prediction to anticipate future movements and prevent track loss during periods of severe environmental occlusion [4].

Proposed hybrid data association framework combines the computational efficiency of Joint Probabilistic Data Association (JPDA) with the robustness of Multiple Hypothesis Tracking (MHT) by dynamically partitioning tracks into clusters (Fig. 1).

Figure 1. Hybrid Data Association Framework

For simple singleton clusters, the system employs a low-cost nearest-neighbor update, while multi-track clusters with consistent innovation utilize JPDA to compute weighted pseudo-measurements that prevent track merging. If a radar return deviates significantly from statistical predictions based on normalized innovation, the track is elevated to a local hypothesis bank to preserve target identity through branching until the ambiguity is resolved over subsequent scans. All association modes utilize a variable-structure interacting multiple model filter that adaptively activates different Kalman models ranging from low-noise models for steady flight to high-noise models for aggressive maneuvering - to maintain responsiveness without inflating covariance during stable periods.

High-performance SoC implementations reduce hardware redundancy while providing the computational power required for modern avionics. The dual-bus SoC architecture [5] features a fast

processor bus for core components, including the CPU, RAM, and HUD controller alongside a slower bus for peripherals like UART and GPIO. This topology is particularly well-suited for radar data processing, as the integration of a dedicated Digital Signal Processor (DSP) or Graphics Processing Unit (GPU) enables the rendering of complex symbology and the efficient overlay of radar feeds onto primary flight information [5].

The analysis confirms that multi-bus SoC designs, leveraging dedicated hardware acceleration, are exceptionally suited for the heavy computational demands of radar data processing and real-time image generation. By utilizing adaptive hybrid strategies on these platforms, next-generation avionics can achieve improved tracking continuity and expanded functionality while significantly reducing system dimensions and power consumption.

References

1. Wang, Y., Zhang, H., Li, Q., & Chen, X. (2022). Airborne Radar Target Detection in Heterogeneous Clutter Environments Using Adaptive Processing Techniques. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 58(4), 3120–3134. https://doi.org/10.1109/TAES.2022.3145678

2. Liu, R., Li, X., Sun, J., & Shan, T. (2025). Multi-Information-Assisted Joint Detection and Tracking of Ground Moving Target for Airborne Radar. Remote Sensing, 17(12), 2093. https://doi.org/10.3390/rs17122093

3. Julier, S. J., & Uhlmann, J. K. (2004). Unscented filtering and nonlinear estimation. Proceedings of the IEEE, 92(3), 401–422. https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.823141

5. Milan, A., Leal-Taixé, L., Reid, I., Roth, S., & Schindler, K. (2016). MOT16: A Benchmark for Multi-Object Tracking. arXiv preprint arXiv:1603.00831, 1–14. https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.00831.

5. Kariagin, V., Dunets, R. (2025). Analysis of Aviation Information Display Methods and Their Implementation as a System on Chip. Measuring Equipment and Metrology, 84(1), 55–60. https://doi.org/10.23939/istcmtm2025.01.055

ADAPTIVE DATA TRANSMISSION STRATEGIES FOR UAV-BASED LOCALIZED METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEMS

Vladyslav Shevchuk
Postgraduate student, Lviv Polytechinc National University, vladyslav.shevchuk.asp.2025@lpnu.ua
Halyna Klym
Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, halyna.i.klym@lpnu.ua
Taras Tkachuk
Senior Lecturer, Lviv Polytechnic National University, taras.i.tkachuk@lpnu.ua

The work proposes adaptive data transmission strategies for UAV-based meteorological monitoring systems. The proposed architecture combines embedded sensing nodes, cloud services, and event-driven communication mechanisms based on edge computing principles. The approach reduces redundant traffic and improves responsiveness of distributed environmental monitoring systems.

Keywords: meteorological monitoring, UAV, edge computing, IoT, data transmission.

Modern meteorological monitoring systems increasingly use distributed sensing architectures and UAV platforms for environmental data acquisition [1]. Compared to traditional stationary monitoring systems, UAV-based platforms provide improved spatial flexibility and support localized atmospheric observations.

The proposed hardware–software complex integrates sensing nodes, embedded controllers, communication modules, and cloud infrastructure into a unified distributed monitoring system. The general data flow is organized as: sensors → microcontroller → realtime database → web application → storage.

The general architecture of the proposed monitoring system is

illustrated in Fig. 1.

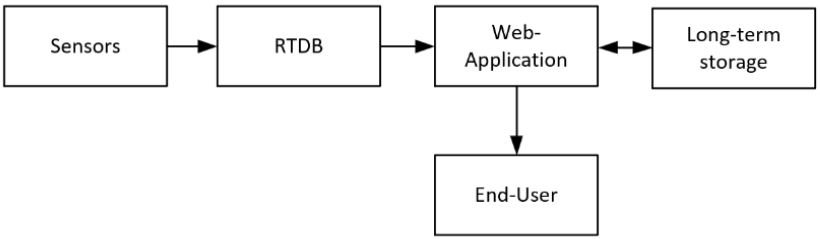


Figure 1. General architecture of the proposed monitoring system

The sensing subsystem is based on the ESP32 platform with integrated wireless communication capabilities and support for environmental sensors. The modular architecture enables integration of heterogeneous sensing devices depending on monitoring requirements.

The proposed system supports two data transmission strategies: periodic transmission and event-driven transmission based on edge computing principles [2]. In the periodic approach, sensor data is transmitted after predefined time intervals. Although this approach simplifies synchronization, it may generate redundant traffic and introduce latency.

The event-driven approach transmits data only when significant changes in sensor values are detected. The transmission condition can be represented as:

$$|x_t - x_{t-1}| > \Delta. \quad (1)$$

where x_t is the current parameter value and Δ is the predefined threshold.

Compared to periodic transmission, the event-driven approach reduces unnecessary communication and improves responsiveness of the monitoring system. At the same time, threshold configuration

significantly affects system efficiency because excessively large thresholds may ignore important environmental changes.

The obtained results demonstrate that adaptive event-driven transmission strategies improve communication efficiency and scalability of distributed meteorological monitoring systems. The proposed approach may also be applied in other IoT-based environmental monitoring applications.

References

1. Chodorek A., Karpinski M., Barylak P. Weather sensing in an urban environment with the use of UAV and WebRTC-based open universal framework // Sensors. – 2021.

2. Shi W., Dustdar S. The promise of edge computing // Computer. – 2016.

3. Kvasnii M., Shevchuk V., Klym H. Robotic drone-based system for collecting and analyzing meteorological data // Proceedings of the 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). – 2022.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF A SOFTWARE CONTROL ALGORITHM FOR A DUAL-AXIS SOLAR TRACKER TO OPTIMIZE THE ANGLE OF INCIDENCE OF SOLAR RADIATION

Artem Shulga
Faculty of Science and Engineering,
Zernike Institute for Advanced Materials of Groningen, Netherlands,
A.G.Shulga@rug.nl
Mykhailo Poteichuk
Lutsk National Technical University,
assistant of the department of software engineering,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents the study of the efficiency of a software control algorithm for a dual-axis solar tracker designed to optimize the angle of incidence of solar radiation on photovoltaic panels. The developed algorithm provides automated orientation of the photovoltaic surface along two axes according to the current position of the Sun and minimizes angular losses during the day. A comparative calculation was performed for a 30 kW fixed photovoltaic system with south-oriented panels tilted at 30 degrees and for a 30 kW system equipped with a dual-axis tracking mechanism. The obtained results showed that the use of the developed software-controlled dual-axis tracker increased daily electricity generation from 196.60 kWh to 304.65 kWh, which corresponds to an efficiency increase of 54.9 %.

Keywords: solar tracker, dual-axis tracking, photovoltaic system, software control, solar radiation, angle of incidence, energy efficiency, photovoltaic generation

The modern development of renewable energy requires the implementation of technical and software solutions that increase the efficiency of photovoltaic systems without increasing the installed capacity of solar panels. One such solution is the use of dual-axis solar trackers, which provide spatial orientation of the photovoltaic surface in accordance with the changing position of the Sun during the day. Modern studies indicate that dual-axis tracking makes it possible to

increase electricity generation compared with fixed systems by reducing angular losses and ensuring more accurate alignment of the panel with the radiation source [1]. In fixed solar power plants, perpendicular incidence of solar radiation is ensured only during a limited period of the day; therefore, significant generation losses occur in the morning and evening hours. The purpose of the paper is to study the efficiency of the developed software control algorithm for a dual-axis solar tracker, which provides automated orientation of photovoltaic panels relative to the position of the Sun in order to reduce angular losses and increase daily electricity generation. The main attention is paid to the software control logic, which determines the required position of the panels along the azimuthal and vertical axes, monitors deviations from the optimal position, and generates control signals for the tracker actuators.

As part of the research, an algorithm was developed that determines the current position of the Sun, calculates the optimal position of the photovoltaic panel, estimates the angular deviation, and corrects the position along two coordinates. The software part provides coordinated control of the azimuthal and vertical axes. The position of the Sun is determined programmatically based on time, date, and geographical latitude, and the feasibility of this approach is confirmed by modern implementations of solar coordinate calculation, in particular SolTrack [2]. The algorithm also takes into account the threshold value of the angular error, which reduces the number of unnecessary movements, the power consumption of the drives, and the load on the mechanical components of the tracker.

The developed software solution also provides the possibility of recording the main operating parameters of the tracking system. In particular, the system can store data on the calculated position of the Sun, the current orientation of the photovoltaic surface, and the deviation between the required and actual panel position. This makes it possible to analyze the operation of the tracker after the completion of the daily cycle and identify possible inaccuracies in positioning. Such an approach increases the practical value of the algorithm, since it can be used not only for control but also for monitoring the efficiency of photovoltaic generation.

To assess the efficiency, a comparative calculation study of a 30 kW photovoltaic system was performed in two variants: fixed placement of panels with southern orientation and a tilt angle of 30°, and a system of the same capacity equipped with a dual-axis solar tracker. The parameters of Risen photovoltaic modules were adopted for the model, whose open technical characteristics provide temperature parameters, in particular the temperature coefficient of maximum power [3]. The calculation was performed for a clear April day in 2026 at a geographical latitude of $\varphi = 50.75°$ N. For both variants, panel surface contamination at the level of 2% and a power temperature coefficient of −0.35%/°C relative to a temperature of 25 °C were taken into account. For the fixed solar power plant, losses associated with the deviation of the angle of incidence of solar radiation from the perpendicular to the panel surface were additionally considered. Such losses increase especially in the morning and evening hours, when the Sun has a significant azimuthal deviation from the southern direction. In modern studies, they are described through the concept of IAM, that is, the incidence angle modifier, which characterizes the optical losses of a photovoltaic module when solar radiation is not perpendicular to its surface [4]. In a system with a dual-axis tracker, these losses are significantly reduced, since the control algorithm changes the position of the panel in accordance with the movement of the Sun during the day.

According to the results of the calculation study, it was found that a fixed photovoltaic system with a capacity of 30 kW produces approximately 196.60 kWh of electricity on the studied clear April day. A system of the same capacity equipped with a dual-axis solar tracker with software control provides a daily output of 304.65 kWh. The additional output is 108.05 kWh per day, and the relative increase in generation is 54.9%. The greatest effect is observed in the morning and evening hours, when the fixed system has the largest angular deviation, while the tracker orients the panels in the direction of sunrise or sunset.

From the point of view of software engineering, the developed algorithm is the main element of the hardware-software complex for controlling a solar power plant. Its use makes it possible to increase

the energy efficiency of the system, ensure logging of operating parameters, control actual power, analyze daily production, and detect deviations in the operation of the drives. Modern studies of dual-axis trackers confirm the feasibility of combining a mechanical model, embedded control, and software analysis of system operating parameters [5]. The practical significance of the algorithm lies in the fact that the increase in generation is achieved without increasing the number of solar panels.

Thus, the paper investigates the efficiency of the software control algorithm for a dual-axis solar tracker used to optimize the angle of incidence of solar radiation. The developed algorithm provides automated adjustment of the panel position along two axes and reduces angular losses characteristic of fixed photovoltaic systems. The 54.9% increase in generation confirms the efficiency of the proposed software approach to controlling the position of solar panels.

References

1. Barrios-Sánchez J. M., et al. Dual-Axis Solar Tracking System for Enhanced Photovoltaic Efficiency. Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 3. Article 1117.

2. van der Sluys M., van Kan P. SolTrack: a free, fast and accurate routine to compute the position of the Sun. 2022.

3. Risen Energy. Datasheet: Risen p-type Dual Glass Modules, IEC61215-2021. 2025.

4. Ríos-Ledesma F., Barrutia L., Ledesma J., Narvarte L., Lorenzo E. Angular losses in photovoltaic energy estimation: A review. 2026.

5. Acosta-Banda A., et al. Design, Modeling, and Experimental Validation of a Dual-Axis Solar Tracking System. Energies. 2025. Vol. 18, No. 22. Article 5951

Секція 4. Інформаційні системи та цифрові технології

Section 4. Information Systems and Digital Technologies

СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ВЕБ-СИСТЕМ ДЛЯ ЛІТЕРАТУРНИХ ПРОЕКТІВ: ІНТЕГРАЦІЯ СТОРІТЕЛІНГУ ТА ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Абрагамовський Орест Вікторович
Луцький національний технічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, orestabrag@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

STRATEGIES FOR DESIGNING IMMERSIVE WEB SYSTEMS FOR LITERARY PROJECTS: INTEGRATING STORYTELLING AND E-COMMERCE

Abrahamovskyi Orest
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, orestabrag@gmail.com
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

This paper details the development of an immersive D2C website for a dark fantasy book trilogy. Built with Next.js, WebGL, and PostgreSQL, the platform combines 3D scrollytelling with a secure Stripe payment module. This approach enhances reader engagement and conversion rates by offering an interactive user experience. AI tools were used to accelerate database design. The project proves the high efficiency of modern web technologies in direct digital sales.

Keywords: D2C model, immersive website, scrollytelling, Next.js, WebGL, PostgreSQL, digital book market.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій та цифровізація видавничої сфери зумовлюють потребу в пошуку нових підходів до реалізації книжкової продукції. Класичні методи дистрибуції поступово поступаються місцем моделі Direct-to-Consumer (D2C), за якої автор взаємодіє з аудиторією та реалізує інтелектуальну власність без залучення посередників. У контексті просування жанрової літератури звичайного інтернет-магазину чи статичної сторінки-візитки недостатньо. Виникає

практична необхідність у проєктуванні вебресурсів, здатних забезпечити просторову імерсію та утримувати увагу користувача через інтерактивні елементи ще на етапі попереднього ознайомлення з твором.

Об’єктом дослідження виступає процес створення багатофункціональної платформи для презентації трилогії «Ступай між зір» (жанр dark fantasy). Головне завдання полягає в інтеграції візуального сторітелінгу з надійним модулем онлайн-оплати. Оскільки жанр grimdark вимагає обережної роботи з палітрою, архітектуру користувацького інтерфейсу побудовано з використанням глибоких антрацитових відтінків (зокрема #121212), що дозволяє уникнути надмірного навантаження на зір, зберігаючи при цьому коефіцієнт контрастності тексту згідно зі стандартом доступності WCAG.

Для структурування контенту розроблено трирівневу ієрархію користувацького досвіду (UX), яка безпосередньо корелює з хронологією сюжету трилогії. Етап експозиції, присвячений книзі «Перші серпанки», використовує м’які частинки WebGL для візуалізації первісного ефіру світу. Другий рівень «Вік імли» реалізовано через стилістику гласморфізму з ефектами динамічного туману. На цьому етапі складність UI-компонентів, зокрема карток персонажів, зростає паралельно з прокручуванням сторінки. Третій етап «Туман війни» відрізняється використанням жорстких текстур, динамічних шейдерів та максимально акцентованих CTA-елементів для стимулювання покупки. Взаємодія з ресурсом базується на техніці скролітелінгу (scrollytelling), яка дозволяє порційно видавати інформацію, жорстко контролюючи темп розповіді.

Технічну базу клієнтської частини побудовано на основі фреймворку Next.js. Застосування технології серверного рендерингу (SSR) нівелює типову проблему односторінкових додатків, забезпечуючи миттєву індексацію описів лору та книг пошуковими роботами. Механізм розділення коду (code splitting) дозволяє ізолювати важкі 3D-бібліотеки, підключаючи їх виключно за потреби. Анімації та робота з тривимірними об’єктами реалізовані через зв'язку Three.js та GSAP (із плагіном ScrollTrigger). Процес верстки оптимізовано за рахунок утилітарного CSS-фреймворку Tailwind.

Серверна логіка та обробка даних функціонують у середовищі Node.js. Зважаючи на жорсткі вимоги до надійності фінансових операцій та управління складськими залишками, як систему управління базами даних обрано PostgreSQL. Її архітектура гарантує повну відповідність принципам ACID (атомарність, узгодженість, ізольованість, довговічність), що є критичним фактором для модулів електронної комерції. Запити до бази формуються через Drizzle ORM. Прийом онлайн-платежів забезпечується через інтеграцію API платіжного шлюзу Stripe. Додатково, на етапах проєктування реляційної структури таблиць та генерації настановних тестових даних було застосовано інструменти на базі генеративного штучного інтелекту, що суттєво скоротило час розробки прототипу.

Практична значущість одержаних результатів полягає у створенні архітектури програмного продукту, здатного функціонувати як автономна D2C-платформа. Поєднання імерсивних WebGL-ефектів із транзакційно стабільним бекендом переводить вебсайт із категорії пасивних інформаційних ресурсів у формат інтерактивного доповнення до художнього твору.

Список використаних джерел

1. Dev S. PostgreSQL + Next.js + Drizzle ORM: A Step-by-Step Guide. Medium. URL: https://medium.com/@the.sikandar.dev/postgresql-next-js-drizzle-orm-a-step-by-step-guide-cb487b1a3ca3 (дата звернення: 12.05.2026).

2. Immersive Storytelling as a Technology, a Practice, and an Experience / N. D. Bowman та ін. Media and Communication. URL: https://doi.org/10.17645/mac.9334 (дата звернення: 12.05.2026).

3. Méndez G. G., Such J. Scrollytelling as an Alternative Format for Privacy Policies. arXiv. URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.04367 (дата звернення: 12.05.2026).

4. Nanda S. The Transformation of Marketing in the Digital Ag. AACSB. URL: https://www.aacsb.edu/insights/articles/2025/02/the-transformation-of-marketing-in-the-digital-age (дата звернення: 12.05.2026).

ОПТИМІЗАЦІЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ЗАПАСІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАТРИЧНОГО ABC/XYZ-АНАЛІЗУ

Анісімов Святослав Ігорович
ДВНЗ "Донецький Національни Технічний Університет",
студент, sviatoslav.anisimov.kita@donntu.edu.ua
Назарова Ірина Акопівна
ДВНЗ "Донецький Національни Технічний Університет", к.т.н,
доц., iryna.nazarova@donntu.edu.ua

OPTIMISATION OF PHARMACEUTICAL STOCK LEVELS USING MATRIX ABC/XYZ ANALYSIS ALGORITHMS

Anisimov Sviatoslav Ihorovych
Donetsk National Technical University, student,
sviatoslav.anisimov.kita@donntu.edu.ua
Nazarova Iryna Akopovna
Donetsk National Technical University, PhD, Docent,
iryna.nazarova@donntu.edu.ua

The thesis focuses on the data engineering aspect of a pharmaceutical inventory optimization system. It highlights the architecture of the data access layer based on MS SQL Server. The developed database structure ensures secure storage, data integrity, and pre-aggregation of historical sales records, which is crucial for accurate matrix ABC/XYZ analysis.

Keywords: data engineering, database, MS SQL Server, inventory optimization, automated system.

Забезпечення безперебійної роботи сучасних аптечних мереж вимагає не лише використання ефективних алгоритмів аналізу, але й побудови надійного фундаменту для зберігання та обробки великих масивів історичних даних [1]. Кожного дня фармацевтичний бізнес генерує тисячі транзакцій, тому основою розроблюваного програмного додатка став рівень доступу до даних, спроєктований на базі реляційної системи управління базами даних MS SQL Server [2]. Використання професійної

СУБД гарантує транзакційну цілісність, надійне збереження інформації про продажі медикаментів та високу продуктивність системи при роботі з великими обсягами інформації [2].

Основні архітектурні та інженерні рішення на рівні бази даних включають наступні аспекти:

1) розроблено нормалізовану реляційну структуру для зберігання характеристик лікарських засобів, інформації про постачальників та історію транзакцій [3];

2) реалізовано механізми попередньої агрегації даних за допомогою складних SQL-запитів безпосередньо на стороні сервера [3];

3) забезпечено постійну підтримку цілісності зв'язків між таблицями до моменту передачі масивів на рівень бізнес-логіки [2].

Налаштовано надійний канал взаємодії між сховищем даних та аналітичним модулем мовою Python для швидкого імпорту результатів вибірки [4].

Такий підхід до інженерії даних значно знижує навантаження на програмну частину системи, оскільки найбільш ресурсомісткі операції виконуються на рівні бази даних [3]. У результаті аналітичний модуль отримує вже підготовлені та структуровані набори даних, що створює основу для побудови ефективної аналітичної системи та гарантує високу точність подальшого розрахунку показників матричного ABC/XYZ-аналізу [1].

Список використаних джерел

1. Основи управління запасами в логістиці. Київ: Центр навчальної літератури, 2019. 256 с.

2. Microsoft SQL Server Documentation. URL: https://learn.microsoft.com/sql/ (дата звернення: 15.04.2026).

3. SQL (Structured Query Language). Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/SQL (дата звернення: 15.04.2026).

4. McKinney W. Python for Data Analysis. O’Reilly Media, 2017. 544 p.

ЗАСТОСУВАННЯ UX-МЕТОДІВ У РОЗРОБЦІ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТРЕСУ СТУДЕНТІВ CARECAT

Банацька Катерина Петрівна
ВНУ імені Лесі Українки, здобувачка І рівня вищої освіти,
кафедра прикладної лінгвістики,
Banatska.Kateryna2024@vnu.edu.ua
Максимук Христина Михайлівна
ВНУ імені Лесі Українки, здобувачка І рівня вищої освіти,
кафедра прикладної лінгвістики,
Maksymuk.Khrystyna2024@vnu.edu.ua
Савчук Дарина Анатоліївна
ВНУ імені Лесі Українки, здобувачка І рівня вищої освіти,
кафедра прикладної лінгвістики,
Savchuk.Daryna2024@vnu.edu.ua

APPLICATION OF UX METHODS IN THE DEVELOPMENT OF THE CARECAT MOBILE APPLICATION FOR MONITORING STUDENT STRESS

Kateryna Banatska
Lesya Ukrainka Volyn National University, Bachelor's Degree Student, Department of Applied Linguistics,
Banatska.Kateryna2024@vnu.edu.ua
Khrystyna Maksymuk
Lesya Ukrainka Volyn National University, Bachelor's Degree Student, Department of Applied Linguistics,
Maksymuk.Khrystyna2024@vnu.edu.ua
Daryna Savchuk
Lesya Ukrainka Volyn National University, Bachelor's Degree Student, Department of Applied Linguistics ,
Savchuk.Daryna2024@vnu.edu.ua

The paper analyzes key UX design methods used in developing the CareCat stress monitoring system, which integrates a smart micro-patch with a mobile app. It covers the main stages of UX research, including briefing, customer interviews, UX personas, customer

journey mapping (CJM), User Flow, and protype design.

Keywords: UX design, Brief, Customer Interview, persona, Customer Journey Map (CJM), User Flow, prototype design stress monitoring.

У сучасному освітньому просторі проблема студентського стресу є критичною: 67,1 % студентів мають середній рівень стресу, а 11,9 % мають високий рівень [3]. Оскільки більшість використовує лише прості способи подолання стресу й рідко звертається по професійну допомогу, проєкт CareCat як зручний турботливий компаньйон допомагає контролювати стрес і зберігати спокій.

Метою роботи є аналіз застосування методів UX-дослідження у процесі розробки мобільного додатку Carecat та ролі UX-дизайну у підвищенні зручності використання та ефективності додатку, призначеного для відстеження рівня стресу та надання рекомендацій студентам.

CareCat – це цифрова система моніторингу стресу для студентів, що поєднує смарт-мікропластир і мобільний застосунок. Вона аналізує біометричні показники в реальному часі та надає персоналізовані рекомендації і статистику для контролю психофізіологічного стану.

Етап брифування [2] визначив концепцію, цільову аудиторію та функції продукту, а також окреслив структуру застосунку та дизайн-напрям. Система орієнтована на студентів і вирізняється доступністю, простотою та комфортом. На цьому етапі також було розроблено логотип CareCat, що відображає ідею підтримки, турботи та емоційного комфорту (рис. 1).

Рисунок 1. Логотип додатку CareCat

Етап Customer Interview [2] був спрямований на виявлення потреб і поведінкових особливостей користувачів. Опитування студентів (15–25 років) показало, що стрес асоціюється з втомою, тривожністю та проблемами з концентрацією, а для його зниження найчастіше використовують відпочинок і музику. Основними недоліками наявних застосунків є висока ціна та платний контент. Більшість респондентів готові користуватися пристроєм за умови захисту даних, а оптимальна ціна становить 500–1000 грн.

Важливо також дослідити конкурентів. Для цього проведено аналіз 5 сил Портера та SWOT-аналіз [2]. Результати для додатка CareCat показали високу конкуренцію з боку великих компаній, зокрема Apple і Headspace, але водночас підтвердили унікальність проєкту завдяки біометричному моніторингу та персоналізованому інтерфейсу.

Одним із ключових етапів UX-дослідження є створення персон, тобто узагальнених описів користувачів. Для цього використано онлайн-інструмент UXPRESSIA [5], де на основі Customer Interview створено три персони. Зокрема, 19-річний студент Едвард, який шукає доступний, зручний і персоналізований продукт із точним вимірюванням стресу та простими порадами, уникаючи складних додатків із дорогою підпискою. Це допомогло зосередитися на реальних потребах користувачів і чітко визначити цільову аудиторію.

Проте лише створення персон недостатньо для якісного UX-дослідження, адже важливим етапом є також складання карти шляху клієнта (Customer Journey Map) [2]. Для цього проаналізовано думки, емоції, цілі, мотиви та страхи кожної персони. Крім того, створено User Flow [2], тобто візуалізацію послідовності дій користувача для досягнення мети. На відміну від Customer Journey Map, цей інструмент зосереджується на конкретних кроках і завданнях. Для додатка CareCat також розроблено блок-схему одного з можливих сценаріїв дій користувача.

Завершальним етапом UX-дослідження стало створення макету дизайну додатку CareCat у Figma [4]. Під час розроблення

враховано результати попередніх етапів і застосовано основні принципи UX/UI-дизайну для забезпечення зручності користування додатком. У результаті створено яскравий, функціональний і зрозумілий інтерфейс із простою навігацією. Користувач може обрати світлову тему, переглянути статистику стресу, підібрати корисні поради та ознайомитися з картою сну з аналізом його рівня.

Проведене дослідження підтверджує доцільність використання UX-методів для створення ефективних цифрових рішень у сфері ментального здоров'я. Запропонований підхід сприяє формуванню продукту, орієнтованого на реальні потреби користувачів і забезпечує позитивний досвід взаємодії.

Список використаних джерел

1. Глюза М. Основи UX-research / М. Глюза, О. Вовк // Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів та студентів, 22–23 лютого 2024 р. – Х. : ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2024. – С. 112.

2. Матеріали UX-дослідження мобільного додатка для моніторингу стресу студентів CareCat. URL: https://tinyurl.com/mwyyye4c (дата звернення: 28.04.2026).

3. Переважна більшість українських студентів живе в умовах стресу. Освіта.ua : веб-сайт. URL: https://osvita.ua/vnz/94527/ (дата звернення: 24.04.2026).

4. Figma. Дизайн-прототип додатку CareCat URL: https://tinyurl.com/3vz3kw7v (дата звернення: 08.05.2026).

5. UXPRESSIA : офіційний сайт. URL: https://uxpressia.com (дата звернення: 08.05.2026).

МОДЕЛЮВАННЯ ІОТ-СИСТЕМ У ВІРТУАЛЬНОМУ МЕРЕЖЕВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Бель Ангеліна Олександрівна
Рівненський державний гуманітарний університет, бакалавр, bel.anhelina.ipz@rshu.edu.ua
Шинкарчук Назар Володимирович
Рівненський державний гуманітарний університет, доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, кандидат технічних наук, доцент, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

MODELING IOT SYSTEMS IN A VIRTUAL NETWORK ENVIRONMENT

Bel Anhelina Oleksandrivna
Rivne State University of the Humanities, Bachelor, bel.anhelina.ipz@rshu.edu.ua
Shynkarchuk Nazar Volodymyrovych
Rivne State University of the Humanities, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Modeling, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

This paper examines approaches to the design and modeling of Internet of Things (IoT) networks in a virtual environment Cisco Packet Tracer. It analyzes the architecture of IoT systems, networking technologies, and the specific features of using a modeling environment to create intelligent solutions. An example of an IoT system implementation is presented, and its effectiveness is evaluated.

Keywords: Internet of Things, modeling, networks, Cisco Packet Tracer.

Сучасний розвиток інформаційних технологій, зумовлює активне впровадження та використання технології Інтернет речей (IoT), яка передбачає інтеграцію фізичних об’єктів у цифрове середовище. Основна ідея такого підходу полягає у створенні мережі пристроїв, здатних самостійно збирати, передавати та обробляти дані без постійного втручання людини. Вперше цю

концепцію було сформульовано Кевіном Ештоном у 1999 році, який розглядав Інтернет речей як систему взаємопов'язаних об'єктів, що обмінюються інформацією через мережу [1].

Подальший розвиток IoT привів до формування цілісного наукового підходу до побудови таких систем. Зокрема, дослідники визначають Інтернет речей як багаторівневу архітектуру, яка включає сенсорний, мережевий та прикладний рівні [2]. На сенсорному рівні здійснюється збір інформації про стан середовища, мережевий рівень забезпечує передачу даних, а прикладний – аналіз для прийняття рішень. Така структура дозволяє забезпечити ефективну взаємодію між компонентами системи і створює основу для автоматизації процесів.

З огляду на складність IoT-інфраструктури, важливим є не лише теоретичне розуміння її принципів, але й можливість їх практичної реалізації. Саме тому особливого значення набувають інструменти віртуального моделювання IoT-систем. Одним із таких інструментів є Cisco Packet Tracer (рис. 1), який широко використовується для навчального моделювання мережевих взаємодій та дозволяє відтворювати сценарії роботи IoT-пристроїв [3].

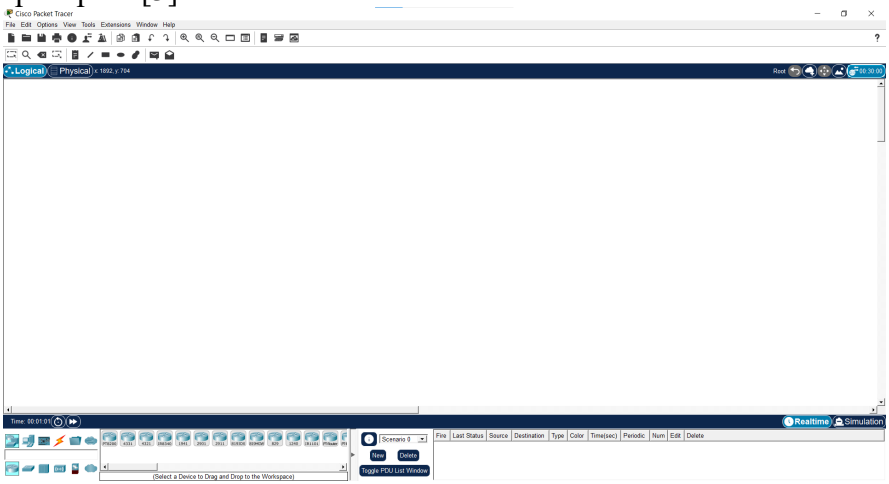


Рисунок 1. Робоче вікно Cisco Packet Tracer

Використання середовищ моделювання створює умови для переходу від теоретичних уявлень до практичного застосування

Інтернету речей. У цьому контексті важливими є дослідження, спрямовані на адаптацію IoT-рішень до реальних умов та їх масштабування, що підтверджується сучасними науковими підходами до впровадження таких систем [4].

У межах даного дослідження, в Cisco Packet Tracer, було розроблено модель інтелектуального середовища, що імітує роботу мережі пристроїв Інтернету речей з автоматизованим керуванням. Побудована система включає сенсорні пристрої, які здійснюють моніторинг параметрів навколишнього середовища, зокрема температури, наявності руху та диму. Зібрані дані передаються через мережеву інфраструктуру.

Ключовою особливістю моделі є реалізація подієво-орієнтованого керування, відповідно до якого система реагує на зміну умов у режимі реального часу. Наприклад, виявлення руху призводить до автоматичного вмикання освітлення, що забезпечує раціональне використання енергоресурсів. Зміна температури активує систему кондиціонування, а фіксація диму запускає сигналізацію, що моделює механізми безпеки.

Таким чином, спроєктована модель демонструє не лише технічну сторону реалізації технології Інтернет речей, але й її практичну доцільність. Вона наочно ілюструє, як взаємодія між сенсорами та виконавчими пристроями дозволяє автоматизувати процеси та підвищити ефективність управління середовищем.

Важливим результатом дослідження є підтвердження того, що використання середовищ моделювання дозволяє значно спростити процес проєктування IoT-систем (рис. 2). Це дає можливість тестувати різні сценарії роботи, виявляти потенційні проблеми та оптимізувати систему ще до її фізичної реалізації. Такий підхід є особливо актуальним у навчальному процесі, оскільки сприяє формуванню практичних навичок без необхідності використання дороговартісного обладнання.

Візуальне представлення моделі дозволяє краще зрозуміти принципи організації IoT-систем та наочно демонструє результати виконаного проєкту.

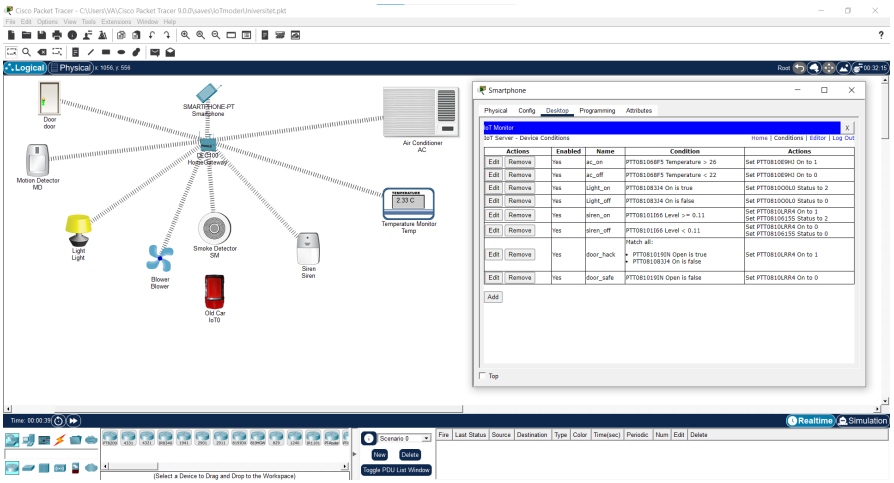


Рисунок 2. Моделювання IoT-мережі у Cisco Packet Tracer

Отже, поєднання теоретичних основ Інтернету речей із їх практичною реалізацією у середовищі моделювання забезпечує цілісне розуміння принципів побудови сучасних інформаційних систем. Отримані результати можуть бути використані як у навчальному процесі, так і при розробці реальних рішень Інтернету речей.

Список використаних джерел

1. That “Internet of Things” Thing. RFID Journal. URL: https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/ (дата звернення 16.04.2026).

2. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29 (2013), P. 1645-1660.

3.Cisco Packet Tracer. URL: https://www.netacad.com/cisco-packet-tracer (дата звернення: 22.04.2026).

4. Vermesan O., Friess P. Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers. 2014, 373 p.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ UNITY ДЛЯ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Бойко Лев Степанович
Луцький національний технічний університет, к.т.н, доцент,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
l.boyko@gmail.com
Гомон Максим Петрович
Луцький національний технічний університет, магістр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
gomonm3@gmail.com
Яценюк Максим Миколайович
Луцький національний технічний університет, бакалавр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
yaesenykmax356@gmail.com

ADVANTAGES OF USING UNITY TO DEVELOP EDUCATIONAL SIMULATORS WITH VIRTUAL REALITY ELEMENTS

Boiko Lev Stepanovych
Lutsk National Technical University, PhD,
Department of Software Engineering, l.boyko @gmail.com
Homon Maksym Petrovich
Lutsk National Technical University, master's,
Department of Software Engineering, gomonm3@gmail.com
Yatseniuk Maksym Mykolayovych
Lutsk National Technical University, bachelor,
Department of Software Engineering, yaesenykmax356@gmail.com

The paper analyses the advantages of the Unity engine for creating VR simulators. Key factors such as hardware optimization, documentation quality, and the flexibility of the C# language is considered. Special attention is paid to the use of VR technologies in the development of simulator mobile air defense groups. The proposed approach ensures high performance on autonomous VR headsets and reduces the learning curve for developers.

Keywords: game engine, Unity, VR, simulator, air defence, optimization, C#.

Сучасна сфера професійного навчання вимагає впровадження високотехнологічних рішень, серед який особливе місце посідають тренажери з віртуальною реальність (VR). Вибір ігрового рушія для таких проектів є критичним, оскільки VR-системи ставлять підвищені вимоги до стабільності кадрової частоти (FPS) та низької затримки.

Аналіз останніх досліджень свідчить, що Unity [1] займає домінуючу позицію в сегменті інді-розробки та мобільних рішень, що робить його перспективним для створення VR тренажерів [2]. На відміну від Unreal Engine [3], який орієнтований на високобюджетні AAA-проекти з фотореалістичною графікою, Unity пропонує “золоту середину” між продуктивністю, швидкістю розробки та якістю зображення.

Однією з ключових переваг Unity є велика система оптимізації, наприклад можна використовувати більш гнучкий додатковий спосіб рендерингу Universal Render Pipeline (далі URP) [4]. У розробці VR-симулятора ППО-шника це дозволяє використовувати SRP Batcher та налаштування URP Assett для мінімізації викликів відмальовування (draw calls), що є життєво важливим для автономних VR-шоломів (наприклад, Meta Quest 2 [5]). Використання спрощених шейдерів, наприклад Simple Lit, дозволяє зберегти візуальну чіткість без перевантаження системи.

Швидкість опанування інструментів напряму залежить від якості документації. Unity надає структуровану базу знань з чітким поділом на пояснення та приклади коду [1]. Це дозволяє легко використовувати механіки взаємодії у VR.

Використання мови C# забезпечує низький поріг входу та високу швидкість написання ігрової логіки. Завдяки автоматичному очищенню пам’яті (Garbage Collection)[6] та бібліотекам .Net, реалізація важких механік стає простішою в порівнянні з використанням мови програмування C++.

Особлива увага в дослідженні приділяється практичному

застосування Unity для розробки VR-симулятора/тренажера мобільної групи ППО. VR дозволяє створити ефект повної присутності, де стрілець може відпрацювати навички виявлення та знищення цілей. Використання Mesh Combiner для оптимізації оточення та глибоке налаштування XR Interaction Toolkit дозволяє створити високоефективний навчальний засіб.

Отже, поєднання інструментів оптимізації, доступної документації та універсальності мови C# робить Unity найкращим варіантом для розробки спеціалізованих навчальних тренажерів. Перспективи подальної роботи полягають у впровадженні реалістичної фізики фізики снарядів у межах створеного VR проекту.

Список використаних джерел

1. Unity Documentation. URL: https://docs.unity.com/en-us (дата звернення 29.04.2026)

2. Антидроновий VR тренажер компанії U-FORCE. URL: https://u-force.in.ua/antydron-vr/(дата звернення 27.04.2026)

3. Unreal Engine. URL: https://www.unrealengine.com (дата звернення 01.05.2026)

4. Universal Render Pipeline for Unity. URL: https://docs.unity3d.com/6000.6/Documentation/Manual/urp/urp-introduction.html (дата звернення 29.04.2026)

5. Oculus Quest 2. Огляд та висновки віртуальної гарнітури. URL: https://www.ispot.com.ua/blog/Oculus-Quest-2 (дата звернення 29.04.2026)

6. C# Garbage collection. URL: https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/standard/garbage-collection/ (дата звернення 27.04.2026)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФОРМАТІВ ДАНИХ ДЛЯ МІЖСЕРВІСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ У РІШЕННЯХ З МІКРОСЕРВІСНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ НА GOLANG

Бойко Лев Степанович
Луцький національний технічний університет, к.т.н, доцент,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
l.boyko@gmail.com
Олефірук Юлія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, бакалавр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
olefirukulia@gmail.com
Сулік Тарас Юрійович
Луцький національний технічний університет, бакалавр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
syliktaras@gmail.com

A COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA FORMATS FOR INTER-SERVICE COMMUNICATION IN MICROSERVICE ARCHITECTURE SOLUTIONS WRITTEN IN GOLANG

Boiko Lev Stepanovych
Lutsk National Technical University, PhD,
Department of Software Engineering, l.boyko @gmail.com
Olefiruk Yuliia Mykolaivna
Lutsk National Technical University, bachelor,
Department of Software Engineering, olefirukulia@gmail.com
Sulik Taras Yuriyovych
Lutsk National Technical University, bachelor,
Department of Software Engineering, syliktaras@gmail.com

This study conducts a systematic comparative analysis of data serialization formats utilized for message exchange within microservice architectures implemented in the Go programming language. The evaluation criteria encompass computational performance, serialized data footprint, and implementation complexity. The test results indicate that the efficiency of data serialization formats may depend significantly on the type of data

being processed.

Keywords: format, JSON, ProtoBuf, MessagePack, Gob, performance.

У сфері розробки серверного програмного забезпечення вже тривалий час зберігається тенденція здійснення вибору на користь мікросервісної архітектури [1, 2] у порівнянні із монолітною [3].

Із-за особливостей комунікації між компонентами системи (сервісами) постає питання вибору оптимального формату для передачі даних і результати аналізу різноманітних джерел засвідчують стабільно високий інтерес до цієї теми [4, 5]

Для порівняння було обрано популярні та перевірені часом формати, які найчастіше використовуються у production-середовищах, розроблених на go: JSON [6], MessagePack [7] та Progotocol Buffers (ProtoBuf) [8]. Також у дослідженні було проведено аналіз унікальнікального для Golang двійкового формату – gob [11].

Порівняння аналізованих форматів відбувалося на ідентичному наборі даних, на одному й тому ж пристрої (MacBook Pro M3, 36 Гб ОЗУ, ОС Tahoe 26.4.1) при ідентичних параметрах компіляції. Тестування відбувалося за допомогою стандартних засобів Golang – пакету “testing”. Для оцінювання кожного з форматів використовувалися такі критерії як швидкість кодування та декодування, об’єм даних у серіалізованому вигляді та зручність використання.

ProtoBuf очікувано продемонстрував найкращі показники щодо розміру серіалізованих даних незалежно від вихідних умов тестів. Найгірший показник відносно даного критерію у Gob.

Стосовно швидкості серіалізації та десеріалізації найкращі показники у MessagePack. Неочікувані результати було отримано при використанні ProtoBuf при роботі з динамічними масивами та хеш-таблицями – показники продуктивності були нижчі у порівнянні з JSON та MessagePack.

Результати порівняльного аналізу продемонстрували що жоден із досліджуваних форматів не в змозі одночасно

забезпечити однаково високі показники щодо швидкості серіалізації та десеріалізації, розміру закодованих даних та зручності використання. Також було виявлено суттєвий вплив на продуктивність роботи форматів типу даних, які підлягають обробці.

Список використаних джерел

1. 7 Tech Giants Embracing Microservices. URL: https://www.cmswire.com/information-management/7-tech-giants-embracing-microservices/ (дата звернення 28.04.2026).

2. Перехід на мікросервіси: власний досвід, переваги та недоліки. URL: https://dou.ua/forums/topic/47724/ (дата звернення 28.04.2026).

3. «Мікросервіс під кожну кнопку» та інші міфи про цю архітектуру. Спростовує Дмитро Кокот, Head of Engineering в Addmile. URL: https://journal.gen.tech/post/mikroservis-pid-kozhnu-knopku-ta-inshi-mifi-pro-arhitekturu (дата звернення 28.04.2026).

4. My Journey Comparing JSON, uJSON, Avro, and Protobuf. URL: https://hosseinnejati.medium.com/my-journey-comparing-json-ujson-avro-and-protobuf-1d74b93ef138 (дата звернення 01.05.2025).

5. Maltsev E., Muliarevych O. «Beyond JSON: Evaluating serialization formats for space-efficient communication.» Advances in Cyber-Physical Systems 9.1 (2024): 9-15.

6. JSON. URL: https://www.json.org/json-en.html (дата звернення 01.05.2026).

7. MessagePack: It's like JSON. but fast and small. URL: https://msgpack.org/index.html (дата звернення 02.05.2026).

8. Protocol Buffers Documentation. URL: https://protobuf.dev/ (дата звернення 01.05.2026).

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Боярська Ірина Юріївна
Луцький національний технічний університет,
студентка, кафедра Інженерії програмного забезпечення,
boyarska.i2102.121.24@lntu.edu.ua
Потейчук Михайло Іванович
Луцький національний технічний університет,
асистент кафедри інженерії програмного забезпечення,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR AUTOMATED MONITORING OF PRODUCTION PROCESSES

Boiarska Iryna
Lutsk National Technical University,
student, department of Software Engineering,
boyarska.i2102.121.24@lntu.edu.ua
Poteichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University, assistant of the Department of Software Engineering,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper examines approaches to software development for automated monitoring of industrial processes. It is shown that the use of multi-layer architectures, IoT technologies, and cloud platforms improves system scalability and reliability. The proposed solutions can be applied in modern manufacturing environments to optimize performance and reduce downtime.

Keywords: industrial monitoring, software engineering, IoT, SCADA, system architecture

Сучасні промислові підприємства характеризуються високим рівнем складності технологічних процесів, що зумовлює необхідність використання автоматизованих систем моніторингу. Програмне забезпечення, яке забезпечує збір, обробку та аналіз

даних у реальному часі, відіграє ключову роль у підвищенні ефективності виробництва та якості управлінських рішень [1]. Умови цифрової трансформації та впровадження концепції Industry 4.0 сприяють активному використанню інформаційних технологій для контролю та оптимізації виробничих процесів [2].

Основою ефективної системи моніторингу є її програмна архітектура, яка визначає можливості масштабування, гнучкість та надійність системи [3]. Найбільш поширеним підходом є використання багаторівневої архітектури, що включає рівень збору даних, обробки, прикладної логіки та представлення інформації [1].

Рівень збору даних взаємодіє з датчиками за допомогою протоколів Modbus, OPC UA або MQTT, що забезпечує надійний обмін інформацією [4]. Рівень обробки виконує фільтрацію інформації та її збереження у базах даних, таких як PostgreSQL чи InfluxDB. Прикладний рівень відповідає за реалізацію алгоритмів аналізу даних, виявлення аномалій і формування сповіщень.

Під час розробки систем моніторингу використовують різні архітектурні підходи. Монолітна архітектура об’єднує всі компоненти в одну систему, що полегшує процес розробки, але створює труднощі під час масштабування. Мікросервісна архітектура, навпаки, розділяє функціональність на окремі незалежні сервіси, завдяки чому підвищуються гнучкість і можливості масштабування. Подієво-орієнтована архітектура ґрунтується на обміні подіями через брокери повідомлень, що сприяє підвищенню продуктивності, хоча й потребує більш складного налаштування [3].

Важливим аспектом є вибір технологій розробки, який залежить від вимог до системи. Інтеграція SCADA та IoT-технологій дозволяє розширити функціональність систем моніторингу, забезпечуючи обробку великих обсягів даних у реальному часі [2]. Для серверної частини використовуються мови програмування C#, Java або Python, а для клієнтської – JavaScript або TypeScript. Фреймворки .NET Core, Spring Boot та Django значно спрощують процес розробки та інтеграції компонентів системи.

Практичні дослідження показують, що впровадження автоматизованих систем моніторингу дозволяє зменшити простої обладнання, підвищити точність аналізу даних та оптимізувати витрати на технічне обслуговування. Зокрема, використання IoT та хмарних технологій забезпечує можливість прогнозування відмов і підвищення ефективності виробництва.

Окрему увагу при проєктуванні таких систем слід приділяти забезпеченню надійності передачі даних та відмовостійкості компонентів. У виробничих умовах можливі перебої зв'язку, перевантаження мережі або часткові відмови обладнання, тому система повинна мати механізми повторної передачі повідомлень, буферизації даних та автоматичного відновлення роботи після збоїв. Це дозволяє підтримувати безперервність моніторингу та мінімізувати втрати критично важливої інформації.

Таким чином, створення програмного забезпечення для автоматизованого контролю виробничих процесів є складним і багатогранним завданням, що вимагає використання сучасних методів програмної інженерії, продуманої архітектури та засобів забезпечення якості. Подальший розвиток технологій IoT і штучного інтелекту надає нові перспективи для вдосконалення систем моніторингу та підвищення ефективності роботи промислових підприємств.

Список використаних джерел

1. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5th ed. Pearson, 2019.

2. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems // Manufacturing Letters. 2015. Vol. 3.

3. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Pearson Education, 2015.

4. IEC TR 62541-1:2020. OPC Unified Architecture – Part 1: Overview and Concepts. International Electrotechnical Commission, 2020. URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/61109 (дата звернення: 08.05.2026).

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБЛІК ВІДВІДУВАНОСТІ СТУДЕНТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ QR-КОДУ ТА ГЕОЛОКАЦІЇ

Будь Лілія
Луцький національний технічний університет, магістр спеціальності інженерія програмного забезпечення, bud.l0603.f2.25@lntu.edu.ua
Повстяна Юлія
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, yuliapovstyana@ukr.net

AUTOMATED STUDENT ATTENDANCE ACCOUNTING USING QR CODE AND GEOLOCATION

Bud Lilia
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, bud.l0603.f2.25@lntu.edu.ua
Povstiana Yuliia
Lutsk National Technical University, Associate professor at the Department of Software Engineering, yuliapovstyana@ukr.net

The paper addresses the problem of optimizing student attendance tracking in higher education. An automated system based on QR codes and geolocation authentication is proposed. QR codes are used for attendance recording, while geolocation ensures student presence in the lecture venue. The system includes dynamic QR generation, geofencing, GPS verification, and IP logging. Testing showed a 95% increase in authenticity and a reduction in attendance time by over 50%.

Keywords: student attendance accounting, QR-code, geolocation, geofencing, automated attendance system, digital transformation of education, anti-proxy technologies, higher education.

Стрімкий розвиток цифрових технологій зумовлює активне впровадження автоматизованих рішень в освітній процес вищих

навчальних закладів. У сучасних університетах ефективність обліку відвідуваності студентів безпосередньо впливає на якість освітнього процесу, мотивацію студентів та об'єктивність оцінювання їхньої навчальної діяльності, що формує необхідність оптимізації цих процесів.

Традиційні системи обліку відвідуваності, що використовуються в різних вищих навчальних закладах, часто спричиняють проблеми [1].

Традиційні підходи до обліку відвідуваності часто базуються на ручній обробці інформації, використанні паперових журналів та децентралізованих програмних засобів. Це призводить до дублювання даних, збільшення кількості помилок, значних витрат часу викладачів та адміністрації, а також створює можливості для зловживань, таких як проксі-відвідування. У великих потоках і групах процес ручного виклику студентів може займати до 10 хвилин на одне заняття, що суттєво зменшує ефективний час викладання та вивчення матеріалу.

Це дослідження спрямоване на розробку інноваційної та ефективної системи обліку відвідуваності студентів для спрощення процесу фіксації присутності шляхом використання технологій QR-коду та геолокації [1].

Технологія QR-коду пропонується як засіб для фіксації та верифікації відвідуваності студентів, тоді як технологія геолокації використовується для підтвердження присутності студентів у потрібній аудиторії [1].

Відвідуваність студентів можна відстежувати за допомогою комбінації GPS-локації та QR-коду. QR-код та GPS-технологія дозволяють прискорити процес фіксації відвідуваності студентів та забезпечити повне відстеження присутності [2].

Інтеграція QR-кодів, геолокації та логування IP-адреси забезпечує надійне та безпечне рішення для обліку відвідуваності. Початкове тестування системи показало збільшення автентичності відвідуваності на 95 %. Впровадження системи дозволяє скоротити час на фіксацію відвідуваності на занятті щонайменше на 50 % [3].

Типове університетське заняття може заощадити від 5 до 10

хвилин завдяки переходу від ручного виклику до сканування QR-коду [4].

Розглянемо приклад впровадження QR-коди для перевірки відвідуваності у всіх своїх класах. До цього викладачі витрачали в середньому 10 хвилин на урок на перевірку відвідуваності.

Завдяки QR-кодам цей час скоротився до однієї хвилини. Адміністрація закладу повідомила про значне покращення навчального часу та зменшення помилок, пов'язаних з відвідуваністю. Крім того, адміністратори могли швидко виявляти закономірності у прогулах та оперативно вирішувати проблеми [5].

Поєднання верифікації геолокації з технологією QR-коду гарантує, що відвідуваність фіксується лише для студентів, які фізично присутні у визначеному місці [6].

Безпечна система управління відвідуваністю студентів з верифікацією геолокації, яка використовує QR-коди, цифровий відбиток пристрою та перевірку GPS у реальному часі. Геофенсинг фіксує відвідуваність лише якщо студент знаходиться в межах 100 метрів від аудиторії [7].

Таблиця 1. Порівняння традиційної системи та запропонованої системи обліку відвідуваності

Показник	Традиційна система	Запропонована система (QR + геолокація)
Час на фіксацію відвідуваності	5-10 хвилин на заняття	30-60 секунд на заняття
Точність (автентичність)	Низька (багато помилок)	Збільшення на 95 %
Скорочення часу на заняття	--	Не менше 50 %
Захист від проксі-відвідування	Відсутній	Високий (геофенсинг + динамічні коди)
Потреба в додатковому обладнанні	Папір / журнал	Відсутня (використовуються смартфони)
Можливість помилок	Висока	Значно зменшена

Автоматизовані інформаційні системи з використанням QR-коду та геолокації забезпечують централізоване зберігання даних, виключають дублювання інформації та дозволяють викладачам і адміністрації отримувати актуальну аналітику в режимі реального часу. Крім того, використання динамічних QR-кодів з обмеженим терміном дії у поєднанні з геофенсингом та додатковими засобами захисту (IP-логування, цифровий відбиток пристрою) суттєво зменшує ризик проксі-відвідування та підвищує загальну дисципліну студентів.

Впровадження такої системи також сприяє переходу до paperless-технологій, зниженню адміністративного навантаження на викладацький склад та підвищенню прозорості навчального процесу. Керівництво університету отримує доступ до оперативних звітів, що дозволяє швидко реагувати на пропуски занять та вживати профілактичних заходів.

Розробка інформаційної системи автоматизованого обліку відвідуваності студентів на основі QR-коду та геолокаційної автентифікації є важливим напрямом цифрової трансформації вищих навчальних закладів. Автоматизація дозволяє підвищити точність обліку, зменшити адміністративне навантаження, мінімізувати шахрайство, заощадити час викладачів та забезпечити конкурентні переваги університету в сучасному освітньому середовищі.

Список використаних джерел

1. Taju S. W., Mamahit Y. P., Pongantung J. A. Implementing QR code and geolocation technologies for the student attendance system. URL: https://doi.org/10.31154/cogito.v10i1.636.642-653 (дата звернення: 02.05.2026).

2. Zakiah Ayop, Chan Yee Lin, Syarulnaziah Anawar, Erman Hamid and Muhammad Syahrul Azhar. “Location-aware Event Attendance System using QR Code and GPS Technology”. URL: http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090959 (дата звернення: 02.05.2026).

3. Mohammed M. S., Zidan K. A. Enhancing attendance tracking using animated QR codes: a case study. URL:

https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i3.pp1716-1723 (дата звернення: 03.05.2026).

4. Best QR code attendance app for schools in 2026 | engineerica. Engineerica | Attendance tracking for academic institutions, conferences, and businesses. URL: https://www.engineerica.com/academic-centers/post/qr-code-attendance-app-for-schools/ (дата звернення: 02.05.2026).

5. How to revolutionize student attendance with QR code technology? VAPS Group. URL: https://vapstech.com/student-attendance-with-qr-code-technology/ (дата звернення: 02.05.2026).

6. Geolocation - based QR code attendance system for universities to mitigate proxy attendance. Swami Vivekananda University Press. URL: https://swamivivekanandauniversitypress.com/index.php/svup/article/view/310 (дата звернення: 02.05.2026).

7. GitHub - anditisyou/QR-Based-Attendance-System. URL: https://github.com/anditisyou/QR-Based-Attendance-System (дата звернення: 02.05.2026).

РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ ПЕРСОНАЛЬНОГО ПОРТФОЛІО ДИЗАЙНЕРІВ

Вакульчак Василь Васильович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.vakulchak@uzhnu.edu.ua
Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Полякова Злата Сергіївна
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, poliakova.zlata@student.uzhnu.edu.ua

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR DESIGNERS' PERSONAL PORTFOLIOS

Vakulchak Vasyl Vasylovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.vakulchak@uzhnu.edu.ua
Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Polyakova Zlata Serhiivna
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, poliakova.zlata@student.uzhnu.edu.ua

This paper explores the development of a specialized web platform for professional self-presentation in the creative sector. The research focuses on designing a client-server architecture to centralize and manage digital portfolios, replacing static presentation methods

with a dynamic, structured environment. The system implements a persistent data storage model and an ergonomic interface aimed at minimizing cognitive load. By integrating project management tools and automated data input, the platform ensures efficient content actualization and scalable professional positioning for designers within the digital ecosystem.

Keywords: digital portfolio, web application architecture, client-server model, creative self-presentation.

Швидкий розвиток цифрових технологій та поява креативного сектору створили потребу в нових методах професійної презентації себе. Для дизайнерів усіх типів використання цифрового портфоліо є вирішальним для демонстрації компетентності, досвіду та креативності [1]. Презентація роботи через статичний PDF-файл або окрему публікацію в соціальних мережах не забезпечує достатньої структури, гнучкості чи персоналізації для ефективного представлення роботи людини. Тому існує потреба у створенні спеціалізованого вебдодатку, щоб мати змогу централізувати, розробляти та підтримувати особисте цифрове портфоліо.

Дослідження спрямоване на вирішення завдання з розробки вебплатформи для ефективної самопрезентації фахівців. Актуальність проєкту полягає у поєднанні інтуїтивно зрозумілої логіки взаємодії з інструментарієм динамічного відображення контенту. Вебзастосунок дозволяє реалізувати персональну онлайн-сторінку з низьким порогом входження, позбавляючи користувача необхідності застосування складних конструкторів або сторонньої технічної підтримки.

У функціональній моделі системи передбачено існування зареєстрованого користувача як ключового актора. Після завершення автентифікації користувач отримує доступ до свого особистого кабінету, де є можливість редагування персональних даних, формування портфоліо та здійснення управління проєктами. Процес додавання нового проєкту реалізовано через окрему форму, яка гарантує структуроване введення інформації: назва роботи, категорія, текстовий опис й ілюстративні матеріали.

Головним компонентом системи є сторінка створення проєкту, яка дозволяє зручно взаємодіяти з інтерфейсом і правильно організувати зміст. Дані, які вводить користувач, зберігаються в базі даних, що забезпечує їх збереження та доступність після повторного входу. Таким чином реалізовано механізм централізованого зберігання інформації, який забезпечує єдність структури додатку. На рис. 1 зображено діаграму прецедентів, що відображає взаємодію користувача із системою.

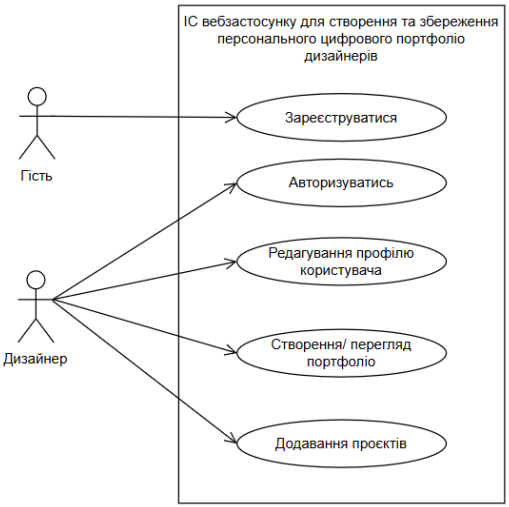


Рисунок 1. Діаграма прецедентів

Архітектура вебзастосунку базується на клієнт-серверній моделі. За відображення інтерфейсу, виконання дій користувача та форматування запитів на сервер відповідає клієнтська частина. Серверна частина приймає запити, виконує обробку даних, зберігає і оновлює інформацію, а також взаємодіє з базою даних. Такий підхід дозволяє окремо розглядати функції відображення та зберігання даних, що спрощує роботу з системою та її подальше вдосконалення [2].

Ключовою детермінантою архітектурної побудови розробленого вебзастосунку є високий рівень ергономічних показників та когнітивна доступність інтерфейсу. Імплементація раціональної системи навігації, застосування модальних

компонентів для ініціалізації проєктів, а також інтеграція інструментарію редагування контенту дозволяють оптимізувати взаємодію суб'єкта з платформою. Зазначені технологічні рішення забезпечують високу інтенсивність актуалізації даних у межах персонального цифрового середовища.

Практична значущість розробки полягає в мінімізації часових витрат на формування портфоліо та забезпеченні персистентності зберігання творчих здобутків. Масштабованість системи створює потенціал для подальшої ітеративної розбудови функціональності, зокрема через розширення бібліотеки шаблонів, категорій та інтеграцію із зовнішніми цифровими сервісами

У межах дослідження здійснено архітектурне проєктування та програмну реалізацію вебзастосунку, призначення якого полягає у верифікації, структуруванні та презентації персональних цифрових портфоліо фахівців у галузі дизайну. Функціональні можливості платформи охоплюють механізми автентифікації користувачів, інструментарій для створення проєктів, а також архітектуру для верифікації та збереження даних у реляційній базі. Створена система характеризується чіткою ієрархією інформаційного наповнення, ергономічною взаємодією та гнучкістю візуального представлення даних. Результати практичного впровадження засвідчують високу ефективність обраного технологічного стеку для вирішення завдань професійного позиціонування фахівців у цифровому середовищі.

Список використаних джерел

1. Hetman, O. P. (2025). Personalnyi brend i portfolio u profesiinii diialnosti dyzainera [Personal brand and portfolio in the professional activity of a designer]. Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs, (6), 64–68. https://doi.org/10.32782/uad.2025.6.7.

2. World Wide Web Consortium. (2024). Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.2. https://www.w3.org/TR/WCAG22/.

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОПЕРАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ЗАВДАННЯМИ НАУКОВИМИ ПРАЦІВНИКАМИ

Гаврильчик Анастасія Юріївна
Луцький національний технічний університет, студентка магістратури гр. КНм-11, havrylchyk.a0803.f3.25@lntu.edu.ua

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR VISUALIZATION AND OPERATIONAL MANAGEMENT OF PERSONAL TASKS BY RESEARCH WORKERS

Gavrylchyk Anastasia Yurievna
Lutsk National Technical University, Master's student, gr. KNm-11, havrylchyk.a0803.f3.25@lntu.edu.ua

This paper investigates automation of planning and monitoring processes for researchers. Architectural solutions for a specialized information system based on .NET, WPF, and MVVM pattern are proposed. An algorithm for dynamic task prioritization using deadline and importance criteria is developed.

Keywords: task management, automation, .NET, WPF, MVVM, Kanban, research productivity, software architecture.

Цифрова трансформація суттєво ускладнила умови наукової праці: дослідники одночасно ведуть кілька проєктів, пишуть статті, готують грантові заявки та викладають. За даними досліджень продуктивності, до 30% робочого часу науковців витрачається не на продуктивну працю, а на організаційні аспекти — визначення черговості завдань та переключення між проєктами [1]. Наявні системи (Trello, Jira, Notion) орієнтовані переважно на командну роботу, вимагають постійного інтернет-з'єднання та мають надмірну функціональну складність для індивідуального користувача. Це створює необхідність у розробці спеціалізованого автономного рішення для наукової спільноти.

Сучасний науковий дискурс будується на поєднанні когнітивної психології та сучасних методів інженерії програмного

забезпечення. Ключовим напрямом є переосмислення персональної ефективності через призму методології Канбан [2]. Дослідники доводять, що візуалізація потоку робіт є критичним механізмом розвантаження робочої пам'яті, що мінімізує втрати при переключенні між завданнями. [3].

Мета роботи. Комплексне дослідження, проєктування та програмна реалізація спеціалізованої інформаційної системи для візуалізації та операційного управління персональними завданнями наукових працівників із використанням алгоритмічної підтримки прийняття рішень.

Основою створеної системи є концепція операційного управління завданнями, яка розглядає діяльність науковця як безперервний потік активностей, що потребують візуалізації та автоматизованого моніторингу. Впровадження Канбан-методології на індивідуальному рівні дозволяє розв'язати проблему «невидимих» завдань, які створюють додаткове когнітивне навантаження. Розподіл завдань за станами — від черги виконання до завершення — забезпечує прозорість робочого процесу та запобігає перевтомі в умовах багатозадачності [2].

Основним компонентом системи є алгоритм автоматизованого визначення пріоритетів. На відміну від статичних підходів, де завдання мають фіксований рівень важливості, запропонована модель передбачає використання динамічного показника критичності. Цей показник обчислюється на основі часу до дедлайну та суб’єктивної ваги завдання. Пріоритетність змінюється нелінійним чином: спочатку плавно, а з наближенням терміну виконання — значно швидше. Такий підхід забезпечує автоматичне впорядкування завдань у колонках Канбану, усуваючи потребу в щоденному ручному оновленні списків для науковця.

Архітектурну основу системи становить стек .NET 8 і WPF з патерном MVVM, що забезпечує чітке розмежування логіки та представлення, спрощує тестування та підтримку коду. Вибір десктопної реалізації з Microsoft SQL Server як реляційною СУБД зумовлений потребою в надійному зберіганні структурованих

даних, розвиненими засобами запитів та масштабованістю. [4; 5]. Важливим аспектом є інтеграція модуля обліку часу безпосередньо в інтерфейс управління завданнями. Кожне завдання накопичує часові витрати через вбудований таймер, що дає змогу отримати об'єктивні дані про реальну тривалість різних видів наукових робіт. Ці дані стають основою для ретроспективного аналізу продуктивності та точнішого прогнозування термінів майбутніх проєктів.

Висновки. Розроблена інформаційна система забезпечує перехід від пасивного нотування завдань до активного управління робочим потоком. Наукова новизна підходу полягає у синергії Канбан-візуалізації та алгоритмічної пріоритезації, що в сукупності мінімізує організаційні витрати часу наукового працівника. Офлайн-архітектура та локальне зберігання даних гарантують конфіденційність і стабільність роботи системи. Впровадження таких рішень сприяє підвищенню загальної якості інтелектуальних результатів наукової діяльності в сучасному цифровому середовищі.

Список використаних джерел

1. L. Schneider S., K. Ness, K. 2012 Faculty Workload Survey research report. Federal demonstration partnership (fdp). Url: https://thefdp.org/wp-content/uploads/fws_2012_final_rpt.pdf

2. Методологія Kanban: можливості та принципи роботи. *Пара Школа. Менеджмент*. URL: https://para.school/blog/management/metodologija-kanban-vozmozhnosti-i-printsipu-rabotu

3. Фатенок-Ткачук А., Януш Р., Гузьо М. Візуалізація облікових даних для прийняття ефективних управлінських рішень. Економіка та суспільство. Url: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4063

4. Microsoft .NET 8 Documentation. Офіційна документація Microsoft. 2024. URL: https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/

5. Microsoft SQL Server Documentation. Офіційна документація Microsoft. 2024. URL: https://learn.microsoft.com/uk-ua/sql/sql-server/

ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ У KUBERNETES-КЛАСТЕРАХ AWS EKS

Горський Михайло
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
д.ф.-м.н., доцент кафедри комп'ютерних наук,
m.gorskiy@chnu.edu.ua
Ушенко Юрій
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
д.ф.-м.н., завідувач кафедри комп'ютерних наук,
y.ushenko@chnu.edu.ua

INTEGRATED APPROACH TO ACCESS MANAGEMENT IN KUBERNETES CLUSTERS ON AWS EKS

Mykhailo Gorsky
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, doctor of science,
associate professor, department of computer science,
m.gorskiy@chnu.edu.ua
Yuriu Ushenko
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, doctor of science,
head of computer science department, y.ushenko@chnu.edu.ua

This paper presents an integrated approach to access management in AWS EKS Kubernetes clusters. It proposes a phased model combining Kubernetes RBAC, AWS IAM, and admission policies to enforce the principle of least privilege. The approach defines distinct roles for observation, deployment, operation, and administration, ensuring secure and controlled access across the system lifecycle while minimizing risks of privilege escalation and misconfiguration.

Keywords: Kubernetes, AWS EKS, access control, RBAC, IAM, least privilege, GitOps, cloud security, DevOps, admission policies, Kyverno, Argo CD

Актуальність теми розмежування прав доступу в AWS EKS обумовлена стрімким зростанням використання

контейнеризованих застосунків та хмарних платформ у сучасних IT-системах. Умови високої динамічності інфраструктури, широке застосування мікросервісної архітектури та розподілених команд розробки створюють нові виклики у сфері інформаційної безпеки. Неправильне налаштування доступів може призвести до ескалації привілеїв, витоку даних або порушення стабільності системи. Особливо це критично для середовищ, де автоматизація та CI/CD-процеси мають прямий доступ до інфраструктури. Тому побудова ефективної, масштабованої та контрольованої моделі управління доступами є ключовим фактором забезпечення безпеки, відповідності стандартам та безперервності бізнес-процесів. Водночас досягнення належного рівня безпеки неможливе лише за рахунок використання механізмів RBAC у Kubernetes. У зв'язку з цим виникає необхідність доповнення RBAC іншими інструментами, зокрема політиками допуску та обмеженнями IAM, які разом формують комплексну модель безпеки [1-3].

Досягнення цієї мети передбачає формування чітко визначеної ролеорієнтованої моделі доступу, у якій кожна роль відповідає конкретним функціональним обов'язкам та рівню відповідальності в життєвому циклі розробки і експлуатації застосунків. Зокрема, виділяється роль спостерігача, яка забезпечує повний доступ лише для читання до ресурсів Kubernetes та сервісів AWS з метою моніторингу, аудиту та аналізу стану системи без ризику внесення змін. Це дозволяє реалізувати прозорість інфраструктури та підтримати процеси спостережуваності[4].

Роль оператора спрямована на підтримку щоденної експлуатації системи розробниками. Вона включає можливості масштабування застосунків, виконання rollback-операцій, оновлення конфігурацій та керування життєвим циклом подів. Основна мета цієї ролі — усунення залежності від централізованих адміністративних рішень у рутинних операціях, водночас зберігаючи обмеження на доступ до чутливих даних та

небезпечних операцій.

На найвищому рівні визначається роль адміністратора, яка надає розширені можливості управління інфраструктурою в межах визначеного домену, включаючи створення та видалення ресурсів, налаштування квот, управління сервісними акаунтами та інтеграцію з хмарними сервісами. Водночас навіть ця роль обмежується встановленими політиками та межами дозволів, що гарантує дотримання принципу найменших привілеїв.

Таким чином, запропонована модель передбачає чітке розділення відповідальностей між ролями спостерігача, розгортання, оператора та адміністратора, що дозволяє забезпечити контрольований доступ до ресурсів на різних етапах життєвого циклу системи. Це сприяє підвищенню рівня безпеки, зменшенню операційних ризиків та оптимізації взаємодії між командами розробки та експлуатації.

Початковий етап передбачає створення фундаментальної інфраструктури без надання доступу користувачам. На цьому етапі критично важливим є налаштування журналювання аудиту Kubernetes, що забезпечує фіксацію дій користувачів і сервісів, включаючи операції exec, port-forward, видалення ресурсів та зміну RBAC-політик. Таке журналювання виступає компенсуючим контролем для всієї системи доступу.

Наступним ключовим компонентом є використання політик допуску (admission policies), зокрема через Kyverno, що дозволяє реалізувати обмеження, які не можуть бути досягнуті лише за допомогою RBAC. Наприклад, контроль префіксів просторів імен або обмеження джерел контейнерних образів формує додатковий рівень безпеки. Паралельно впроваджуються межі дозволів AWS IAM, які обмежують максимальні можливості ролей незалежно від прикріплених політик, що дозволяє запобігти ескалації привілеїв [5].

Перший рівень доступу реалізується у вигляді ролі спостерігача (read-only), що надає повну видимість ресурсів Kubernetes та сервісів AWS без можливості внесення змін. Такий

підхід дозволяє забезпечити моніторинг, аналіз та аудит без ризику порушення стабільності системи. Важливо, що доступ охоплює не лише кластер, а й суміжні сервіси, такі як CloudWatch, S3 та ECR, що створює цілісну картину інфраструктури.

Другий етап передбачає впровадження GitOps-підходу з використанням системи безперервної доставки Argo CD, яка забезпечує декларативне управління станом застосунків у кластері. У межах цього підходу вводяться ролі розгортання, що надають контрольований доступ до створення та оновлення прикладних ресурсів відповідно до описів у репозиторіях. При цьому доступ обмежується лише безпечним підмножиною операцій, виключаючи роботу з секретами та механізмами управління доступом до моменту впровадження додаткових політик контролю. Інтеграція з GitHub Actions через OIDC дозволяє реалізувати безпечну федерацію ідентичностей без використання статичних облікових даних, що суттєво підвищує рівень безпеки та прозорість процесів розгортання [6].

Третій рівень орієнтований на операційну діяльність розробників і включає можливість масштабування сервісів, оновлення конфігурацій та виконання rollback-операцій. При цьому доступ до критичних функцій, таких як виконання команд у контейнерах або робота з секретами, залишається обмеженим і потребує додаткових умов. Такий підхід дозволяє усунути вузькі місця в управлінні, не порушуючи політику безпеки.

Фінальний етап передбачає надання адміністративних можливостей у межах визначеного домену. Це включає керування інфраструктурними ресурсами, такими як сховища, реєстри образів, бази даних та мережеві компоненти, але з обмеженням на зміну глобальних політик безпеки. Важливою особливістю є збереження централізованого контролю над критичними компонентами, такими як ClusterRole та CloudTrail, що забезпечує цілісність системи.

Таким чином, запропонована модель розмежування доступу в AWS EKS поєднує RBAC Kubernetes, IAM AWS та політики

допуску в єдину багаторівневу систему контролю. Вона забезпечує поступове розширення прав із постійною валідацією, мінімізує ризики ескалації привілеїв та підтримує ефективну роботу команд у хмарному середовищі.

Список використаних джерел

1. Amazon Web Services. Amazon EKS Security Best Practices Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://docs.aws.amazon.com/eks/latest/best-practices/security.html – Дата доступу: 28.04.2026.

2. Amazon Web Services. IAM Best Practices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/best-practices.html – Дата доступу: 28.04.2026.

3. Kubernetes. Role-Based Access Control (RBAC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kubernetes.io/docs/reference/access-authn-authz/rbac/ – Дата доступу: 28.04.2026.

4. Cloud Native Computing Foundation. Cloud Native Security Whitepaper [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tag-security.cncf.io/community/resources/security-whitepaper/v2/cloud-native-security-whitepaper/ – Дата доступу: 28.04.2026.

5. Kyverno. Policy Management for Kubernetes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kyverno.io/docs/ – Дата доступу: 28.04.2026.

6. Argo Project. Argo CD – Declarative GitOps Continuous Delivery for Kubernetes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://argo-cd.readthedocs.io/en/stable/ – Дата доступу: 28.04.2026.

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЛІНІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА ПСИХОМЕТРИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ

Грошев Владислав Вячеславович
Луцький національний технічний університет,
студент 2 курсу кафедри інженерії програмного забезпечення,
vladgroshev3@gmail.com
Потейчук Михайло Іванович
Луцький національний технічний університет,
асистент кафедри інженерії програмного забезпечення
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE INFORMATION SYSTEM FOR CLINICAL SCHEDULING AND AUTOMATED PSYCHOMETRIC TESTING

Hroshev Vladyslav
Lutsk National Technical University,
2nd-year student of the Department of Software Engineering,
vladgroshev3@gmail.com
Poteichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University,
assistant of the department of software engineering,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper analyzes approaches to creating specialized clinical systems based on modern web technologies. An architectural solution for integrating real-time resource planning modules and automated processing of psychometric data is considered. The experience of migrating systems from monolithic solutions to a microservice architecture using NestJS and Python is described. The implementation of the proposed system allows for minimizing schedule conflicts and automating report generation, which increases the efficiency of specialists in the field of mental health.

Keywords: clinical systems, psychometrics, NestJS, resource planning, automation, microservices.

Цифрова трансформація медичних установ потребує впровадження високонавантажених інформаційних систем, здатних обробляти великі обсяги чутливих даних у режимі реального часу. Особливої актуальності це набуває у сфері психологічної та психіатричної допомоги, де процес діагностики включає складні математичні алгоритми обробки результатів тестування та критичну залежність від точності операційного планування.

При розробці системи PsyTests було прийнято рішення відійти від традиційних монолітних структур на користь модульної архітектури з чітким розподілом відповідальності. Використання монорепозиторію на базі інструментарію Nx дозволило забезпечити строгу типізацію та спільне використання інтерфейсів між клієнтською та серверною частинами додатка. Це критично важливо для систем, що оперують складними структурами даних, такими як графіки прийомів та психометричні профілі користувачів.

Основна частина бізнес-логіки серверної частини реалізована на фреймворку NestJS (TypeScript). Архітектура побудована за принципами Domain-Driven Design, що дозволило виділити доменну логіку в ізольовані шари, незалежні від зовнішніх фреймворків чи баз даних. Для реалізації гнучкості та масштабованості системи було впроваджено підхід Vertical Slices, де кожен функціональний модуль містить усі необхідні компоненти від API-ендпоінтів до логіки доступу до даних [1].

Одним із найскладніших етапів розробки стала реалізація модуля Scheduling. Традиційні HTTP-запити не забезпечували достатнього рівня інтерактивності, тому було інтегровано протокол WebSockets (Socket.io). Такий підхід дозволив реалізувати механізм Reactive UI, де будь-яка зміна у графіку миттєво синхронізується між усіма підключеними клієнтами.

Особлива увага приділена валідації конфліктів. Система виконує багаторівневу перевірку, перевіряється доступність кабінету, графік роботи лікаря та наявність вільних слотів у пацієнта. Тривалі операції, такі як автоматичне завершення прострочених сесій або розсилка повідомлень, винесені в черги

завдань на базі BullMQ та Redis [2].

Специфіка психометричних тестів такі як прогресивні матриці Равена або багатофакторні опитувальники потребують складних статистичних розрахунків. Для цього було розроблено окремий сервіс на мові Python. Вибір мови зумовлений наявністю потужних бібліотек для аналізу даних, таких як Pandas та Matplotlib.

Взаємодія між основним API та обчислювальним рушієм реалізована через gRPC-шлюз. Після завершення тесту пацієнтом, система автоматично передає сирі дані у сервіс, який виконує обчислення, будує вектори психологічного профілю та генерує фінальний звіт у форматі .docx.

Для розгортання системи використано контейнеризацію Docker. Він дозволяє ізолювати середовища виконання для NestJS, Python-воркера, PostgreSQL та Redis. Безпека даних забезпечується механізмами Role-Based Access Control та шифруванням JWT-токенів. Доступ до результатів тестів та персональних даних пацієнтів суворо обмежений ролями: адміністратор бачить лише операційну статистику, лікар - дані своїх пацієнтів, а пацієнт - лише власні активні тестування [3].

Список використаних джерел

1. Evans, E. (2003). Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. Addison-Wesley Professional.

2. Newman, S. (2021). Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems (2nd ed.). O'Reilly Media.

3. Kleppmann, M. (2017). Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. O'Reilly Media.

ВИКОРИСТАННЯ NOTEBOOKLM ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ ЗНАНЬ У МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Гулієва Наталія Михайлівна
Луцький національний технічний університет, Україна, к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки, n.huliieva@lntu.edu.ua
Лавчук Сергій Олександрович
Луцький національний технічний університет, Україна, здобувач гр. ІПЗ- 41 кафедри інженерії програмного забезпечення

USING NOTEBOOKLM FOR AUTOMATED KNOWLEDGE SYNTHESIS IN INTERDISCIPLINARY RESEARCH

Huliieva Nataliia Mykhailivna
Lutsk National Technical University, Ukraine, PhD, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Mechatronics, n.huliieva@lntu.edu.ua
Lavchuk Sergii Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, Ukraine, Alumni of the group IPZ-41 of the Department of Software Engineering

The paper examines the use of the NotebookLM tool for automated knowledge synthesis in interdisciplinary research. Modern approaches to natural language processing, knowledge graph construction, and the use of large language models that underlie such systems are analyzed.

Keywords: automated knowledge synthesis, interdisciplinary research, NotebookLM, artificial intelligence, natural language processing (NLP), large language models (LLM).

Використання NotebookLM у міждисциплінарних дослідженнях забезпечує ефективний автоматизований синтез знань шляхом аналізу різних джерел, виявлення прихованих зв’язків між концепціями різних галузей та формуванням узагальнених висновків, що сприяє підвищенню якості наукових результатів і пришвидшує процес дослідження.

Питання автоматизованого синтезу знань і міждисциплінарних досліджень не належить одному конкретному автору – це ціла наукова галузь на перетині штучного інтелекту, аналізу текстів і науки. Однак можна виділити кілька основних дослідників, які займаються даною проблематикою. У сфері обробки природної мови (NLP) та інформаційного вилучення працюють автори [1-3]. Їхні дослідження спрямовані на автоматичне формування знань із текстів, що є основою синтезу знань із наукових джерел. Науковці [4] застосовують підхід Retrieval-Augmented Generation (RAG), що поєднує пошук інформації та генерацію тексту, який використовується в системах, подібних до NotebookLM, для синтезу знань. Автори [5] займаються застосуванням AI та великих мовних моделей у гуманітарних і природничих науках, демонструючи можливості міждисциплінарного синтезу знань.

В даних умовах можна виділити кілька головних напрямів:

– дослідницькі та колективні роботи. Дослідники системи SciSciGPT (міждисциплінарні команди у сфері science-of-science) розробляють AI-системи та виступають як «співавтори» досліджень, автоматично аналізуючи літературу, дані та методи для формування нових висновків.

– автори підходів до knowledge graphs (наприклад, SCICERO) створюють моделі, які автоматично будують графи знань із наукових статей, що дозволяє машині «розуміти» і поєднувати знання.

– дослідники в галузі NLP та evidence synthesis показують, що AI може автоматично аналізувати великі масиви літератури, виділяти головні дані й інтегрувати їх у нові знання, особливо в міждисциплінарних дослідженнях. Важливі ідеї, які вони розвивають це використання Natural Language Processing для аналізу текстів, побудова графів знань для структуризації науки, застосування великих мовних моделей (LLM) для узагальнення інформації, інтеграція різних дисциплін через семантичний аналіз і topic modeling.

Автоматизований синтез знань – це процес, у якому інтелектуальні системи, зокрема NotebookLM, аналізують,

поєднують і узагальнюють інформацію з великої кількості різних джерел для створення нових, цілісних знань.

Структура автоматизованого синтезу знань:

1. Збір і структурування даних. Система отримує доступ до різних типів джерел: наукових статей, книг, звітів, нотаток. Вона автоматично організовує їх у логічну структуру (теми, підтеми, ключові слова), що є базою для подальшого аналізу.

2. Семантичний аналіз. Інструменти на основі Natural Language Processing визначають зміст текстів: виділяють ключові ідеї, терміни, аргументи та контекст. Це дозволяє працювати не просто з текстом, а й зі змістом.

3. Виявлення зв'язків між знаннями. Система знаходить приховані або неочевидні зв'язки між різними джерелами та дисциплінами. Наприклад, концепти з біології можуть бути співвіднесені з методами аналізу даних із інформатики.

4. Узагальнення та інтеграція. На цьому етапі формується цілісне бачення теми: об'єднуються різні підходи, результати досліджень і теорії в єдину узгоджену систему знань.

5. Генерація нових висновків. Інструмент може пропонувати узагальнення, гіпотези або навіть нові напрями досліджень, спираючись на оброблену інформацію.

6. Інтерактивна взаємодія з дослідником. Користувач може ставити уточнюючі запитання, отримувати пояснення, перевіряти джерела – це робить синтез не лише автоматичним, а й керованим.

У міждисциплінарному контексті підхід NotebookLM особливо цінний, оскільки дозволяє швидко поєднувати знання з різних галузей, зменшуючи фрагментарність і відкриваючи нові наукові можливості.

Список використаних джерел

1. Fung, Yi, Thomas, Ch., Reddy, R.G., Polisetty, S., Ji H., Chang, Sh.-F., McKeown, K., Bansal, M., Sil, A. (2021). InfoSurgeon: Cross-Media Fine-grained Information Consistency Checking for Fake News Detection. In Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing. Vol.

1, 1683–1698. https://doi.org/10.18653/v1/2021.acl-long.133

2. Huliieva, N.M., Huliieva, Z.N. (2023). Construction of UML Diagram in Designing Programs. Grundlagen der modernen wissenschaftlichen Forschungder Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΌΓΟΣ» zu den Materialien der IIIinternationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz, Zürich, 31. März, 2023. Zürich-Vinnytsia: BOLESWA Publishers & Europäische Wissenschaftsplattform, 92–94. https://doi.org/ 10.36074/logos-31.03.2023.28

3. Гулієва Н.М., Батюк Д.Р., Грибок Н.О., Гулієва З.Н. Розрахунок конічного з'єднання за допомогою мови програмування C#. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. Одеса: ОНТУ, 15(2). 2023, 12–20. https://doi.org/10.15673/atbp.v15i2.2526

4. Thrush, T., Jiang, R., Bartolo, M., Singh, A., Williams, A., Kiela, D., Ross, C. (2022). Probing vision and language models for visio-linguistic compositionality. 2022. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 5238–5248. https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.03162

5. Khan, A.A., Chaudhari, O., Chandra, R. (2024). A review of ensemble learning and data augmentation models for class imbalanced problems: Combination, implementation and evaluation. Expert Systems with Applications. Vol. 244, 15 June 2024, 122778. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122778

ВИКОРИСТАННЯ QR-КОДІВ У КЛІЄНТ-СЕРВЕРНИХ POS-СИСТЕМАХ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ

Гулієва Наталія Михайлівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки,
n.huliieva@lntu.edu.ua
Ткачук Микола Анатолійович
Луцький національний технічний університет, здобувач гр. ІПЗ-41 кафедри інженерії програмного забезпечення

USING OF QR-CODES IN CLIENT-SERVER POS SYSTEM OF THE RESTAURANT BUSINESS

Huliieva Nataliia Mykhailivna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Mechatronics,
n.huliieva@lntu.edu.ua
Tkachuk Mykola Anatoliyovich
Lutsk National Technical University, Alumni of the group IPZ-41 of the Department of Software Engineering

The paper considers the use of QR codes in client-server POS systems of the restaurant business. Modern approaches to digital custom service, table identification, electronic menus, online ordering and integration of web modules with restaurant management system are analyzed. The advantages of using QR technologies to optimize service processes and improve customer experience are determined.

Keywords: QR code, POS system, restaurant business, client-server architecture, web application, automation, online ordering.

Сучасний ресторанний бізнес активно впроваджує цифрові технології [1] для підвищення якості обслуговування клієнтів та оптимізації внутрішніх процесів закладу. Одним із найбільш доступних та ефективних інструментів цифровізації стали QR-коди, які дозволяють забезпечити швидку взаємодію відвідувача із сервісами ресторану за допомогою мобільного пристрою.

Традиційний процес обслуговування у закладах харчування

часто супроводжується низкою недоліків: необхідністю очікування офіціанта, використання друкованого меню, затримка під час прийому замовлення та додатковим навантаженням на персонал у години пікового відвідування. Використання QR-кодів [2] дозволяє частково або повністю усунути зазначені проблеми шляхом автоматизації взаємодії між клієнтом та закладом.

У клієнт-серверних POS-системах ресторанного бізнесу QR-коди можуть використовуватись як засіб ідентифікації конкретного столу [1]. Для кожного столу формується унікальний код, після сканування якого користувач переходить на веб-інтерфейс електронного меню. Завдяки цьому система автоматично визначає місце перебування клієнта та дозволяє формувати замовлення без додаткового втручання персоналу.

Важливою перевагою такого підходу є можливість інтеграції веб-модуля з внутрішньою POS-системою закладу [3]. Замовлення, сформовані клієнтом через смартфон, миттєво передаються до серверної частини, обробляються та відображаються в адміністративному інтерфейсі персоналу. Це забезпечує оперативність роботи кухні, бару та офіціантів.

Додатковою функцією є можливість додаткового замовлення до вже відкритого рахунку. Після первинного оформлення замовлення клієнт може скористатися QR-кодом і додати нові позиції до поточного чека. Такий механізм підвищує зручність користування сервісом та скорочує час очікування персоналу.

Перспективним напрямом розвитку QR-рішень у ресторанній сфері є інтеграція модулів онлайн-оплати, програм лояльності, бронювання столів та аналітики поведінки клієнтів [4], що дозволяє створити єдине цифрове середовище обслуговування та поєднує потреби клієнтів і внутрішні бізнес-процеси закладу [5].

Отже, використання QR-кодів у клієнт-серверних POS-системах ресторанного бізнесу є ефективним сучасним рішенням, яке забезпечує автоматизацію процесів обслуговування, зменшує навантаження на персонал, підвищує швидкість роботи закладу

та покращує користувацький досвід відвідувачів.

Список використаних джерел:

1. Toast POS. Restaurant Technology Trends Report. https://pos.toasttab.com/

2. Taringa, B., Manyike, T.V. (2025). Accessed from: https://www.researchgate.net/publication/264800355_What_is_sociology. E-Journal of Humanities, Arts and Social Sciences. 670–687. https://doi.org/10.38159/ehass.2025662

3. Гулієва Н.М., Батюк Д.Р., Грибок Н.О., Гулієва З.Н. Розрахунок конічного з'єднання за допомогою мови програмування C#. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. Одеса: ОНТУ, 15(2). 2023, 12–20. https://doi.org/10.15673/atbp.v15i2.2526

4. MonoBank and LiqPay: the simplest ways to accept Online Payments-Altegio Support.Altegio Support-Altegio Knowledge Base. https://alteg.io/uk/support/knowledge-base/19890386651293

5. Khan, A.A., Chaudhari, O., Chandra, R. (2024). A review of ensemble learning and data augmentation models for class imbalanced problems: Combination, implementation and evaluation. Expert Systems with Applications. Vol. 244, 15 June 2024, 122778. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122778

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ БРОНЮВАННЯ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ ЗАСОБАМИ ВЕБТЕХНОЛОГІЙ

Гулієва Наталія Михайлівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки,
n.huliieva@lntu.edu.ua
Троцюк Андрій Вікторович
Луцький національний технічний університет, здобувач гр. ІПЗ-43 кафедри інженерії програмного забезпечення

AUTOMATION OF HOTEL ROOM BOOKING PROCESSES USING WEB TECHNOLOGIES

Huliieva Nataliia Mykhailivna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Mechatronics,
n.huliieva@lntu.edu.ua
Trotsiuk Andrii Viktorovich
Lutsk National Technical University, Alumni of the group IPZ-43 of the Department of Software Engineering

The paper considers the development of a web system for hotel room booking using ASP.NET Core Web API, Entity Framework Core, SQL Server, React and Bootstrap. The main approaches to automating hotel reservation processes, managing room availability, processing user requests and organizing client-server interaction are analyzed. The advantages of using modern web technologies to improve the efficiency of hotel services and user experience are determined.

Keywords: hotel booking system, web application, ASP.NET Core Web API, Entity Framework Core, SQL Server, React, Bootstrap, client-server architecture, automation.

Сучасна готельна сфера активно впроваджує інформаційні системи для автоматизації процесів бронювання, обліку номерного фонду та взаємодії з клієнтами. Використання веб-систем бронювання дозволяє підвищити доступність послуг, скоротити час обробки заявок і забезпечити зручний механізм

вибору та резервування готельних номерів.

Традиційний процес бронювання часто передбачає телефонні дзвінки, ручне внесення даних адміністратором, перевірку доступності номерів у таблицях або локальних програмах. Такий підхід може призводити до помилок, дублювання бронювань, втрати інформації та затримок під час обслуговування клієнтів. Тому актуальним є створення веб-системи, яка забезпечує централізоване збереження даних і автоматизовану обробку бронювань.

Розроблювана система базується на клієнт-серверній архітектурі. Серверна частина реалізується за допомогою ASP.NET Core Web API, що дозволяє створювати REST API для обміну даними між клієнтським інтерфейсом і базою даних [1]. Такий підхід забезпечує розділення логіки користувацького інтерфейсу, бізнес-логіки та доступу до даних [2].

Для роботи з базою даних використовується Entity Framework Core, який виконує роль об’єктно-реляційного відображення між класами програмної моделі та таблицями бази даних. Застосування цього інструменту спрощує створення запитів, керування сутностями, виконання міграцій та підтримку структури бази даних. Як система керування базами даних використовується SQL Server, що забезпечує надійне збереження інформації про користувачів, номери, категорії номерів, бронювання та статуси заявок [3].

Клієнтська частина веб-системи створюється з використанням React. Ця бібліотека дозволяє будувати інтерактивний інтерфейс користувача, оновлювати дані без повного перезавантаження сторінки та зручно організовувати компоненти застосунку. Для оформлення інтерфейсу використовується Bootstrap, який забезпечує адаптивність сторінок і коректне відображення системи на різних пристроях [4].

Основними функціональними можливостями системи є перегляд доступних номерів, фільтрація за датами, категоріями та ціною, створення бронювання, перегляд деталей номера, керування заявками та адміністрування номерного фонду. Для

адміністратора передбачається можливість додавання, редагування та видалення номерів, зміни їх статусу, перегляду списку бронювань і керування інформацією про клієнтів [5].

Важливою перевагою веб-системи бронювання є автоматична перевірка доступності номерів на обраний період. Це дозволяє уникнути накладання бронювань і підвищити точність роботи готельного сервісу. Крім того, система може бути розширена модулями онлайн-оплати, авторизації користувачів, надсилання повідомлень електронною поштою, формування звітів та аналітики завантаженості номерного фонду.

Отже, розробка веб-системи для бронювання готельних номерів є актуальним завданням, спрямованим на цифровізацію готельного бізнесу. Використання ASP.NET Core Web API, Entity Framework Core, SQL Server, React і Bootstrap дозволяє створити сучасну, масштабовану та зручну систему, яка покращує якість обслуговування клієнтів, зменшує навантаження на персонал і підвищує ефективність управління готельними ресурсами.

Список використаних джерел:

1. ASP.NET Core Documentation. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/

2. Paydar, S. Kahani, M. A semantic web enabled approach to reuse functional requirements models in web engineering. Autom. Soft. Eng. 2015. 22. 241–288. https://doi.org/10.1007/s10515-014-0144-4

3. Huliieva, N., Lishchyna, N., Pasternak, V., & Huliieva, Z. Development of a system for predicting failures of bagging machines. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska. 2025. 15(4). 10–13. https://doi.org/10.35784/iapgos.8054

4. Sarı, A., Tosun, A. Alptekin, G.I. A systematic literature review on crowdsourcing in software engineering. J. Syst. Soft. 2019. 153. 200–219. https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.04.027

5. Hu P., Gu D. Development and Implementation of WEB-based Online Hotel Reservation System. Atlantis Press, 2013. https://doi.org/10.2991/isccca.2013.58

ВІРТУАЛЬНИЙ ОФІС ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ N8N

Дорогий Ярослав Юрійович
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», д.т.н., проф., завідувач кафедри штучного інтелекту та кібербезпеки,
yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua

ENTERPRISE VIRTUAL OFFICE BASED ON THE N8N AUTOMATION PLATFORM

Iaroslav Dorohyi
Donetsk National Technical University, D. Sc. (Tech.), prof.,
Head of the Department of Artificial Intelligence and Cybersecurity,
yaroslav.dorohyi@donntu.edu.ua

The object of the study is the processes of digital transformation of enterprise office activities through the implementation of the n8n low-code platform. The aim of the work is to develop an architectural model of a virtual office that ensures seamless integration of corporate services and automation of routine operations. During the research, methods of system analysis and architectural design of workflows were utilized. The key result is the concept of a decentralized virtual environment that enhances business operational resilience and reduces administrative costs.

Keywords: n8n, virtual office, business process automation, low-code, API integration, digital transformation.

Сучасний етап розвитку глобальної економіки характеризується стрімким переходом підприємств до гібридних та дистанційних моделей роботи, що зумовлює критичну потребу у створенні цілісних віртуальних офісів. Проблема більшості існуючих рішень полягає у фрагментарності використання інструментів (SaaS-сервісів), які часто не мають налагодженої автоматичної взаємодії між собою, що призводить до втрати

даних та надмірного когнітивного навантаження на персонал. Актуальність дослідження підсилюється необхідністю впровадження гнучких інструментів оркестрації, таких як n8n, які дозволяють об'єднувати розрізнені бізнес-застосунки у єдину екосистему без значних інвестицій у розробку власного програмного забезпечення.

Застосування платформ типу n8n у побудові віртуального офісу дозволяє реалізувати парадигму «адаптивної автоматизації», де кожен робочий процес проєктується як послідовність вузлів, що взаємодіють через API. На відміну від закритих комерційних систем, n8n надає можливість самостійного хостингу (self-hosting), що є критично важливим для забезпечення кібербезпеки та суверенітету даних підприємства в умовах воєнного стану [1]. Архітектура такого офісу базується на трирівневій моделі: рівень джерел даних (CRM, ERP, месенджери), рівень логічної обробки (n8n сценарії) та рівень виконання дій. Це дозволяє автоматизувати не лише лінійні завдання, такі як розсилка повідомлень, а й складні аналітичні ланцюжки, що включають обробку неструктурованої інформації та прийняття операційних рішень.

Впровадження автоматизації на базі n8n суттєво впливає на стійкість малого та середнього бізнесу, забезпечуючи гнучкість маркетингових стратегій та ефективність управління клієнтським досвідом. Дослідження підтверджують, що використання подібних екосистем дозволяє підвищити продуктивність персоналу та стійкість бізнесу до зовнішніх шоків [2]. Віртуальний офіс на базі n8n виступає не просто як сукупність програм, а як інтелектуальний посередник, що імітує діяльність реальної адміністративної команди, виконуючи функції планування, моніторингу та комунікації в автоматичному режимі.

Особливе значення має інтеграція n8n з концепцією «агентного штучного інтелекту», де окремі сценарії автоматизації можуть виконувати роль автономних вузлів прийняття рішень. Це

дозволяє перейти від жорстко визначених алгоритмів до динамічних систем, здатних до адаптації залежно від контексту бізнес-завдання [3]. Таким чином, розробка віртуального офісу на базі n8n є перспективним напрямком, що дозволяє підприємствам здійснити якісний стрибок у цифровізації, забезпечуючи високу швидкість реакції на зміни ринку при мінімальних операційних витратах.

Список використаних джерел

1. Al-Hashimi, H. A., Khan, R. A., Alwageed, H. S., Algarni, A. M., Ayouni, S., & Almagrabi, A. O. (2025). Exploring the role of generative AI in enhancing cybersecurity in software development life cycle. Array, 28, Article 100509. https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100509

2. Hokmabadi, H., Rezvani, S. M. H. S., Hokmabadi, H., & de Almeida, N. M. (2025). Business resilience through AI-agent automation for SMEs and startups: A review on agile marketing and CRM. Information, 16(11), Article 1000. https://doi.org/10.3390/info16111000

3. Ren, Y., Liu, Y., Ji, T., & Xu, X. (2025). AI agents and agentic AI–navigating a plethora of concepts for future manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 83, 126–133. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2025.08.017

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ВЗАЄМОВІДНОСИН З КЛІЄНТАМИ В СИСТЕМІ SAP BUSINESS ONE: ТЕОРЕТИЧНИЙ ТА ПРИКЛАДНИЙ АСПЕКТИ

Дуда Галина Богданівна
Івано-Франківський національний технічний університет, доцент кафедри підприємництва та маркетингу, кандидат економічних наук, halyna.duda@nung.edu.ua

DIGITALIZATION OF CUSTOMER RELATIONSHIPS IN THE SAP BUSINESS ONE SYSTEM: THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS

Duda Halyna
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Associate Professor of the Department of Entrepreneurship and Marketing, PhD in Economics, Associate Professor, halyna.duda@nung.edu.ua

The paper systematizes the functional capabilities of the CRM module in SAP Business One. The theoretical essence of managing pre-sales documents, activities, and service contracts is revealed. Practical scenarios for transforming leads into customers and mechanisms for analyzing the sales funnel are described. The study emphasizes the integration of marketing, sales, and service within a single ERP environment to increase customer satisfaction and financial predictability.

Keywords: SAP Business One, CRM, business partners, activities, sales funnel, service maintenance.

Сучасний бізнес-сценарій вимагає від підприємств не лише фіксації продажів, а й підвищення ступеня задоволеності клієнтів через систематичне відстеження контактів. Згідно з методологією SAP, ключовою проблемою є хаотичність передпродажних етапів. Інтегрований CRM-модуль дозволяє структурувати ці етапи, забезпечуючи «єдине вікно» доступу до даних для всіх підрозділів компанії.

На основі аналізу навчальних матеріалів SAP Business One

Версії 10.0, можна виділити наступні фундаментальні компоненти цифрового управління відносинами:

1. Концепція бізнес-партнерів у CRM. Теоретичний базис системи будується на чіткому розмежуванні типів партнерів. Процес починається зі створення запису «Потенційний клієнт» (Lead). Це дозволяє здійснювати передпродажну підготовку (дзвінки, пропозиції), не залучаючи бухгалтерію. Важливою особливістю SAP є можливість перетворення «Ліда» на «Клієнта» одним натисканням, що забезпечує безперервність історії взаємодії.

2. Управління операційною діяльністю (Activities). В SAP Business One «Активність» є основним інструментом планування робочого часу. Вона дозволяє фіксувати: типи контактів (телефонні дзвінки, зустрічі, завдання або електронні листи), зв'язок з об'єктами (кожна активність може бути прив'язана до бізнес-партнера, конкретної угоди або сервісного звернення). Практичне застосування цього інструменту створює прозору систему контролю: менеджер отримує нагадування, а керівництво бачить повну картину комунікацій.

3. Моделювання процесу продажів (Sales Opportunities). Об’єкт «Можливість» дозволяє керувати воронкою продажів (Sales Pipeline). Система пропонує структурування угоди за етапами, де на кожному кроці фіксуються: прогнозована дата закриття та очікувана сума, аналіз конкуренції (фіксація загроз з боку інших гравців ринку), рівень успіху (візуалізація шансів на закриття угоди у відсотковому еквіваленті). Це дозволяє системі автоматично генерувати динамічні звіти, що відображають потенційні доходи на кожній стадії воронки.

4. Маркетингові кампанії та інтеграція. Система підтримує повний цикл маркетингу — від створення цільової групи до аналізу відгуків. «Майстер генерування кампаній» дозволяє автоматизувати масові комунікації. Важливою теоретичною перевагою є можливість прямої конвертації «Відгуку на кампанію» у «Можливість продажу» або «Замовлення», що замикає аналітичний цикл маркетингових витрат.

5. Післяпродажний сервіс та лояльність. Життєвий цикл

клієнта в SAP не завершується продажем. Система інтегрує CRM з сервісним модулем. При продажу товару, що потребує підтримки (наприклад, техніки), автоматично створюється «Картка обладнання клієнта». Це дозволяє надавати сервісні послуги за договорами, реєструвати звернення та відстежувати історію ремонтів, що є критичним для формування довгострокової лояльності.

Висновки. Аналіз функціоналу SAP Business One підтверджує, що ефективність CRM забезпечується за рахунок глибокої інтеграції передпродажних документів, активностей та сервісу. Такий підхід дозволяє підприємству не лише збільшувати обсяги реалізації, а й перетворювати випадкові контакти на стратегічне партнерство, засноване на повному володінні інформацією про клієнта.

Список використаних джерел

1.Банерджі, Д. (2025). *Прискорення трансформації бізнесу підприємств за допомогою SAP*. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.5258162

2.Сатьяпалан, П. (2026). *Модернізація бізнес-об'єктів SAP із використанням принципів корпоративного зберігання даних*. 14-й Міжнародний симпозіум з цифрової криміналістики та безпеки (ISDFS). IEEE. https://ssrn.com/abstract=5115409

3. Балпунурі, С. Т. Р., та ін. (2025). *Безпечна інтеграція бізнес-процесів SAP із контролем кібербезпеки наступного покоління для ініціатив цифрової трансформації*. Перша міжнародна конференція з видовищ у галузі інженерії та обчислювальних технологій для сталого розвитку (AECTSD). IEEE.

ПРОЄКТУВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ МЕНЮ РЕСТОРАНУ КИТАЙСЬКОЇ КУХНІ

Дін Сюі-Вадим Фучін
Луцький національний технічний університет, студент кафедри комп'ютерних наук, di_fuchin@lntu.edu.ua
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

DESIGN OF THE USER INTERFACE OF A WEB APPLICATION FOR A CHINESE RESTAURANT MENU

Din Syu-Vadym Fuchin
Lutsk National Technical University, student department of Computer Science, di_fuchin@lntu.edu.ua
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, Assistant Professor, Department of Computer Science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

The paper considers the process of designing a user interface for a web application intended to present a Chinese restaurant menu. Modern UI/UX principles, navigation structure, and adaptive design approaches are analyzed. The result is a prototype interface that improves usability and user experience.

Keywords: web application, UI/UX design, restaurant menu, adaptive design, user interface.

У сучасних умовах цифровізації ресторанного бізнесу веб-застосунки стають важливим інструментом взаємодії з клієнтами. Ефективне представлення меню в електронному вигляді дозволяє покращити обслуговування, підвищити привабливість закладу та забезпечити зручний доступ до інформації про страви.

Особливу роль у цьому процесі відіграє користувацький інтерфейс (UI), який у поєднанні з принципами користувацького досвіду (UX) визначає ефективність взаємодії користувача із системою. Якісно спроєктований інтерфейс забезпечує

інтуїтивну навігацію, швидкий доступ до інформації та формує позитивне враження від використання веб-застосунку [1].

Метою роботи є проєктування користувацького інтерфейсу веб-застосунку для представлення меню ресторану китайської кухні з урахуванням сучасних принципів UI/UX-дизайну.

У ході роботи було проведено аналіз існуючих веб-рішень у ресторанній сфері. Дослідження показало, що сучасні веб-застосунки орієнтуються на використання карткової структури подання інформації, візуальної складової (зображень страв) та мінімалістичного дизайну. Встановлено, що ключовими факторами є простота навігації, швидкість доступу до інформації та адаптивність інтерфейсу.

На основі проведеного аналізу було визначено основні вимоги до користувацького інтерфейсу. До них належать: інтуїтивність використання, логічна структура меню, поділ на категорії, наявність зображень, описів і цін, а також забезпечення швидкого завантаження сторінок [2].

Під час проєктування інтерфейсу було враховано принципи мінімалізму, ієрархії інформації та консистентності елементів. Основна увага приділялася зручності перегляду меню, читабельності тексту та логічному розміщенню елементів. Інтерфейс побудовано з використанням чіткого структурування контенту, контрастних візуальних акцентів і графічних елементів для покращення сприйняття інформації.

Розробка структури навігації передбачала створення логічної ієрархії сторінок і розділів. Основне меню містить категорії страв (закуски, основні страви, десерти, напої), що дозволяє користувачу швидко знаходити необхідну інформацію. Передбачено перехід до детальної сторінки кожної страви з розширеним описом [3].

Важливим етапом роботи стало проєктування адаптивного дизайну. Оскільки користувачі взаємодіють із веб-застосунками з різних пристроїв, необхідно забезпечити коректне відображення інтерфейсу на різних екранах. У роботі реалізовано підхід «responsive design», який дозволяє автоматично адаптувати інтерфейс до розміру екрану.

Адаптивність досягається за рахунок використання CSS media queries, гнучких сіток (Flexbox, Grid) та відносних одиниць вимірювання. Для мобільних пристроїв багатоколонковий інтерфейс трансформується в одноколонковий, навігаційне меню реалізується у вигляді випадаючого списку, а елементи керування оптимізуються для сенсорної взаємодії.

Для планшетів використовується комбінований підхід, що поєднує компактність і зручність відображення. Для десктопних пристроїв реалізовано повноцінний багатоколонковий інтерфейс із максимальним використанням доступного простору.

Особливу увагу приділено забезпеченню зручності взаємодії: збільшено області натискання елементів, оптимізовано відступи та забезпечено чітку візуальну ієрархію [4].

На завершальному етапі було створено прототип користувацького інтерфейсу, який демонструє основні функціональні можливості веб-застосунку. Прототип включає головну сторінку, сторінки категорій меню та сторінку окремої страви.

Результатом роботи є спроєктований користувацький інтерфейс, який відповідає сучасним вимогам до зручності, функціональності та естетичності. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшої розробки повнофункціонального веб-застосунку.

Список використаних джерел

1. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. W3C, 2023. URL: https://www.w3.org/TR/WCAG22/ (дата звернення: 28.04.2026).

2. Responsive design. Mozilla Developer Network. URL: https://developer.mozilla.org/ (дата звернення: 28.04.2026).

3. Material Design. Google. URL: https://m3.material.io/ (дата звернення: 28.04.2026).

4. Nielsen J. Usability heuristics for user interface design. Nielsen Norman Group. URL: https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/ (дата звернення: 28.04.2026).

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ У СЕРВІСНИХ ПРОЄКТАХ АПК

Желєзняк Алла Михайлівна
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім.С.З.Гжицького, к.е.н, доцент кафедри інформаційних технологій, AZheleznjak@ukr.net
Жуковський Роман-Ростислав Тарасович
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім.С.З.Гжицького, аспірант кафедри інформаційних технологій, zhukovskyi.rostyslav@gmail.com

INFORMATION SUPPORT FOR RESOURCE MANAGEMENT IN SERVICE PROJECTS OF THE AGRICULTURAL INDUSTRY

Zhelyeznyak Alla
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, PhD, Associate Professor of the Department of Information Technologies, AZheleznjak@ukr.net
Zhukovskyi Roman-Rostyslav
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, PhD Student, Department of Information Technologies, zhukovskyi.rostyslav@gmail.com

The article examines approaches to providing information support for resource management in service engineering projects within the agricultural sector. It has been determined that the implementation of an intelligent information system for resource management in service projects can effectively address the current challenge of knowledge transfer.

An integrated approach to the development of information support for service engineering projects is proposed, aimed at improving the processes of maintenance and repair of agricultural machinery in the future.

Keywords: information technology, service engineering, resources, management.

Тенденції розвитку агропромислового сектору України свідчать про високий рівень цифрової трансформації та зростання технічної оснащеності сільськогосподарських підприємств. Сучасна сільськогосподарська техніка оснащується електронними системами керування, сенсорними модулями, навігаційними комплексами та програмно-апаратними засобами моніторингу, що значно ускладнює процеси її технічного обслуговування і ремонту. За таких умов традиційні підходи до сервісного інжинірингу, які базуються виключно на нормативно-технічній документації та рекомендаціях виробників, уже не забезпечують необхідного рівня оперативності, гнучкості та ефективності прийняття рішень у процесі експлуатації техніки.

В процесі експлуатації сільськогосподарської техніки сервісні та ремонтні бригади стикаються із рядом викликів, пов'язаних із необхідністю оперативного розподілу ресурсів, запасних частин, обладнання та відповідної координації їх роботи. Загалом можна виділити такі типи основних ресурсів в сервісному інжинірингу: людські ресурси сервісних служб та бригад; запасні частини та витратні матеріали; технічне та ремонтне обладнання; транспортні засоби і сільськогосподарська техніка; інформаційні ресурси. Обслуговування сільськогосподарської техніки та використання інших ресурсів для сервісного обслуговування в аграрній сфері зазвичай характеризуються високим рівнем експлуатації в період сезонних робіт (весна-осінь) та низьким рівнем залученості і використання взимку.

На сервісних проєктах також часто виникає проблема передачі та накопичення знань, отриманих у процесі виконання сервісних робіт. Це пов'язано із тим, що значна частина практичного досвіду сервісних інженерів існує у вигляді неструктурованої інформації: описів несправностей, рекомендацій майстрів, фото- та відеоматеріалів, локальних ремонтних рішень. Таку інформацію важко систематизувати та повторно використати під час реалізації інших сервісних проєктів та розподілу важливих ресурсів, наприклад, запасних частин.

Дослідження показують, що сервісні системи дозволяють

спільне створення цінностей через конфігурацію учасників та ресурсів [1-2]. Тому використання інтелектуальних інформаційних систем для передачі знань і досвіду фахівців як доповнення до існуючих регламентів, правил та технічної документації може покращити якість управління ресурсами у сервісних проєктах АПК. Це дасть змогу забезпечити інформаційну підтримку управління ресурсами сервісних проєктів, накопичення експертного досвіду та автоматизацію процесів прийняття рішень.

Прикладом структурованих знань в проєктах сервісного інжинірингу можуть бути технічна документація, регламенти обслуговування, каталоги деталей, бази даних сервісних операцій, а неструктурованих відповідно, усні рекомендації, мультимедійні файли, повідомлення, досвід тощо (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика структурованих та неструктурованих знань у сервісному інжинірингу АПК

Тип знань	Джерела знань	Особливості використання
Структуровані знання	Технічна документація, регламенти обслуговування, каталоги деталей, бази даних	Легко систематизуються та обробляються інформаційними системами
	Історія виконаних ремонтів, журнали технічного обслуговування	Використовуються для планування сервісних робіт та аналізу ефективності
Неструктуровані знання	Практичний досвід сервісних інженерів та механіків	Містять експертні знання щодо нестандартних ситуацій та складних ремонтів
	Рекомендації щодо використання аналогів запасних частин	Використовуються для оперативного прийняття рішення в умовах дефіциту ресурсів

Інтеграція структурованих та неструктурованих знань у межах інформаційної підтримки завдяки використанню

інтелектуальної інформаційної системи дозволить підвищити ефективність управління сервісними проєктами, забезпечити накопичення експертного досвіду та покращити якість підтримки прийняття рішень у процесі технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Структура такої інтелектуальної інформаційної системи на нашу думку, може включати наступні модулі: модуль збору та обробки даних, базу знань, аналітичний модуль, модуль підтримки прийняття рішень.

Особливістю запропонованого підходу є реалізація можливості накопичення знань безпосередньо у процесі виконання сервісних робіт в сільському господарстві, що можу бути корисним з точки зору управління ресурсами сервісних бригад агроходингів, які територіально розподілені в різних областях, так і для неевликих фермерських господарств із обмеженими ресурсами. Інформація про несправності, виконані ремонти сільськогосподарської техніки, використані ресурси та результати сервісного обслуговування зберігатиметься у базі знань і може бути використана у майбутніх проєктах. Очікуваним ефектом від забезпечення більш ефективної інформаційної підтримки на основі використання інтелектуальної інформаційної системи може бути: скорочення часу діагностики несправностей; оптимізація використання ресурсів; зменшення простою сільськогосподарської техніки; підвищення якості та оперативності управлінських рішень; обмін знаннями, накопичення та передачу експертного досвіду.

Список використаних джерел

1. Bohmann, T.; Leimeister, J. M.; and Möslein, Kathrin (2014) Service Systems Engineering - A Field for Future Information Systems Research, *Business & Information Systems Engineering*: Vol. 6: Iss. 2, 73-79. Retrieved from: https://aisel.aisnet.org/bise/vol6/iss2/2

2.Kawtrakul, A. Ontology Engineering and Knowledge Services for Agriculture Domain. Journal of Integrative Agriculture, Volume 11, Issue 5, 2012, pp. 741-751. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60063-X.

САМООПТИМІЗУЮЧІ АЛГОРИТМИ ВИКОНАННЯ JOIN-ОПЕРАЦІЙ У СУЧАСНИХ АНАЛІТИЧНИХ СУБД

Захаров Микита Миколайович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра комп'ютерних наук, аспірант, zakharov.mykyta@chnu.edu.ua
Угрин Дмитро Ілліч
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, d.ugryn@chnu.edu.ua

SELF-OPTIMIZING JOIN EXECUTION ALGORITHMS IN MODERN ANALYTICAL DATABASE SYSTEMS

Mykyta Zakharov
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Computer Science, PhD student, zakharov.mykyta@chnu.edu.ua
Dmytro Uhryn
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Professor of the Department of Computer Science, Doctor of Technical Sciences, Professor, d.ugryn@chnu.edu.ua

Modern analytical database engines increasingly implement self-optimizing query planners capable of automatically reordering JOIN operations to improve performance of complex analytical workloads. This study investigates adaptive join optimization strategies in columnar databases and proposes a cost-based model for dynamic join reordering. The approach evaluates join order using cardinality estimation, memory consumption, and execution latency.

Keywords: OLAP, analytical database, optimization

Сучасні аналітичні системи керування базами даних виконують складні запити, що включають значну кількість операцій JOIN. Ефективність виконання таких запитів значною мірою залежить від алгоритму з'єднання таблиць та порядку виконання JOIN-операцій. У сучасних СУБД застосовуються різні алгоритми виконання JOIN [1], основні характеристики яких

наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння алгоритмів JOIN

Алгоритм JOIN	Складність	Використання пам'яті	Типове застосування
Nested Loop Join	висока	низьке	невеликі таблиці
Hash Join	середня	високе	великі аналітичні запити
Merge Join	середня	середнє	відсортовані дані

Зі збільшенням кількості таблиць, що беруть участь у запиті, різко зростає кількість можливих порядків їх з'єднання [2]. Це суттєво ускладнює процес оптимізації запитів і підвищує важливість впровадження ефективних алгоритмів планування виконання (рис. 1).

Рисунок 1. Зростання кількості можливих планів JOIN зі збільшенням числа таблиць

Для вирішення цієї проблеми сучасні аналітичні рушії баз

даних використовують адаптивні механізми оптимізації запитів, які дозволяють автоматично визначати оптимальний порядок виконання JOIN-операцій [3]. У роботі розглядається архітектура адаптивного оптимізатора, який аналізує статистику даних, будує граф з'єднань таблиць та оцінює вартість можливих планів виконання (рис. 2).

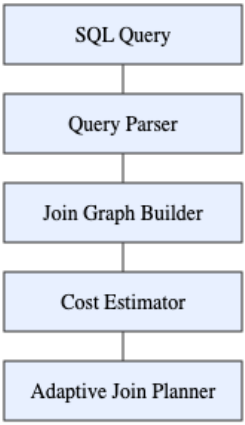


Рисунок 2. Архітектура адаптивного оптимізатора JOIN

Адаптивний оптимізатор формує граф з'єднань таблиць, у якому вершини відповідають таблицям, а ребра - умовам JOIN. На основі статистики даних (кардинальність таблиць, селективність умов, кількість унікальних значень) оптимізатор оцінює можливі варіанти порядку з'єднання та визначає план виконання з мінімальною очікуваною вартістю. На відміну від статичних оптимізаторів, адаптивний підхід дозволяє враховувати фактичні характеристики даних під час виконання запиту та коригувати порядок виконання JOIN у разі суттєвих відхилень оцінок від реальних значень.

Однією з основних причин зниження продуктивності при виконанні складних JOIN-запитів є зростання розміру проміжних результатів. Якщо оптимізатор вибирає неефективний порядок з'єднання таблиць, проміжні результати можуть бути значно більшими за кінцевий результат запиту. Адаптивна оптимізація дозволяє мінімізувати цей ефект, виконуючи спочатку ті JOIN-операції, які мають найвищу селективність, що зменшує обсяг

проміжних даних і знижує навантаження на пам’ять та процесор.

Для оцінки ефективності адаптивного переставлення JOIN було проведено експериментальне моделювання з використанням аналітичного набору даних (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив порядку JOIN на продуктивність запиту

Кількість таблиць	Статичний порядок JOIN	Адаптивний порядок JOIN	Прискорення
3	2.1 с	1.4 с	33%
4	4.9 с	2.8 с	43%
5	12.7 с	6.3 с	50%

Отримані результати показують, що використання адаптивного порядку JOIN дозволяє значно зменшити час виконання складних аналітичних запитів.

Таким чином, використання самооптимізуючих механізмів планування виконання JOIN є перспективним напрямком розвитку сучасних аналітичних СУБД, оскільки дозволяє підвищити ефективність обробки великих обсягів даних та оптимізувати використання обчислювальних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Kipf, A., Neumann, T., Kemper, A., Radke, B., & Leis, V. (2020). Learned Cardinalities: Estimating Correlated Joins with Deep Learning. *Proceedings of the VLDB Endowment, 13*(6), 992–1005. https://doi.org/10.14778/3380758.3380766.

2. Marcus, R., & Papaemmanouil, O. (2021). Neo: A Learned Query Optimizer. *Proceedings of the VLDB Endowment, 12*(11), 1705–1718. https://doi.org/10.14778/3342263.3342644.

3. Ding, W., Li, Y., Zhang, Z., & Chen, J. (2023). Adaptive Query Optimization in Modern Database Systems: A Survey. *ACM Computing Surveys, 56*(2), 1–36. https://doi.org/10.1145/3582519.

ПРО РЕАЛІЗАЦІЮ КОНЦЕПЦІЇ BYOD В СКУД

Зінчук Олександр Олександрович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти
Руднік Денис Петрович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти
Кайдик Олег Леонтійович
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент, кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем, o.kaidyk@lntu.edu.ua

ON THE IMPLEMENTATION OF THE BYOD CONCEPT IN PACS

Oleksandr Zinchuk
Lutsk National Technical University, student
Denys Rudnik
Lutsk National Technical University, student
Oleh Kaidyk
Lutsk National Technical University, PhD of Tech. Sc., Assoc. Prof., Department of Computer Engineering and Security Systems, o.kaidyk@lntu.edu.ua

The paper examines a conceptual approach to implementing mobile identification for PACS based on the BYOD concept. The authors define the role of BLE technology and AES-128 algorithms in ensuring system resilience and substantiate the architecture of a flexible software and hardware environment. The proposed model allows for dynamic security scaling and minimizes the risks of unauthorized access.

Keywords: physical security, physical access control systems (PACS), mobile identification, bring your own device (BYOD), digital transformation, concept, technology, digital footprint.

Інтеграція мобільних пристроїв до сфери фізичної безпеки – це логічний наслідок цифрової трансформації суспільства. Сучасні гаджети за своїми обчислювальними можливостями давно перетворилися на повноцінні персональні термінали, що й

зумовлює їх домінування на ринку споживчої електроніки. Спираючись на аналітичні дані Міжнародного союзу електрозв'язку [1], можна зробити висновок, що глобальне поширення мобільних пристроїв охоплює майже усе населення планети, формуючи, тим самим, стійку тенденцію на персоналізацію гаджетів. На сьогодні, смартфон перестав бути просто інструментом зв'язку, трансформувавшись у невід'ємний аксесуар, який зосереджує у собі критично важливі персональні дані, фінансові інструменти та соціальні зв'язки. Враховуючи це можна сміло стверджувати, що цінність сучасного гаджета, для його власника, забезпечує значно вищий рівень відповідальності за його збереження у порівнянні із традиційними фізичними ідентифікаторами.

Щодо науково-технічного обґрунтування використання мобільних пристроїв у якості ідентифікатора, то воно базується на унікальності цифрового сліду користувача [2]. Роботи, які ведуться у цьому напрямку підтверджують, що аналіз просторово-часових точок активності дозволяє деанонімізувати суб'єкта доступу з надзвичайно високою точністю, що де-факто прирівнює мобільний пристрій до біометричних або паспортних даних. На практиці цей потенціал можна реалізувати лише через концепцію BYOD [3], яка дозволяє використовувати співробітникам власні гаджети для доступу до корпоративних ресурсів. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати капітальні витрати на придбання та обслуговування зчитувачів і карт, але й підвищує загальний рівень безпеки завдяки зниженню ймовірності передачі ідентифікатора другим особам.

Технологічна база сучасної мобільної ідентифікації представлена множиною протоколів взаємодії [4]. Якщо використання GSM-модулів та QR-кодів поступово відходять на задній план через обмеження у швидкості та захисті, то технології малого радіуса дії (NFC та BLE), демонструють стійке зростання.

На сьогодні, особливої уваги заслуговує технологія BLE (Bluetooth Low Energy – Bluetooth) [5], оскільки лише вона сумісна із більшістю сучасних операційних систем та забезпечує, при цьому, енергоефективну роботу й підтримку стійких

алгоритмів шифрування AES-128. Використання спеціалізованих мобільних додатків дозволяє створювати більш складні сценарії автентифікації, включаючи у себе й багатофакторну перевірку.

Як бачимо, формування концептуального підходу до впровадження мобільної ідентифікації вимагає створення гнучкого програмно-апаратного середовища, яке не залежить від специфіки наявного обладнання. У цій моделі смартфон виступає безпечним сховищем для набору віртуальних перепусток, а процеси ідентифікації адаптовуються до внутрішньої політики безпеки об'єкта. Це сприяє аналізу будь-яких реальних бізнес-процесів та реалізації динамічного масштабування системи враховуючи нові загрози або інфраструктурні зміни.

Розроблена авторами модель дає змогу вибудувати цілісну архітектуру захисту та гарантує високу експлуатаційну ефективність, що мінімізує вплив людського чинника та суттєво знизить ризики несанкціонованого доступу.

Список використаних джерел

1. Горностай Н. І., Михальченкова О. Є. Стан галузі ІКТ в Україні та світі. URL: https://urli.info/1oBm- (дата звернення: 28.04.2026).

2. What is digital identity? A complete guide. URL: https://urli.info/1tTOk (дата звернення: 28.04.2026).

3. Скибун О. Ж., Гайдур Г. І., Гахов С. О. Аналіз використання концепції BYOD в корпоративних інформаційних системах. Сучасний захист інформації, 2024. №1(57). С. 50-56. DOI: 10.31673/2409-7292.2024.010006

4. Стрельбицький А. А. Розвиток систем Інтернету речей для інтеграції з Індустрією 4.0 та виробничими процесами. URL: https://urli.info/1tTUA (дата звернення: 28.04.2026).

5. Мобільні технології у СКУД. URL: https://urli.info/1oBF7 (дата звернення: 28.04.2026).

МОНІТОРИНГ ТЕЛЕМЕТРІЇ АВТОМОБІЛЯ ЗАСОБАМИ ПЛАТФОРМИ THINGSBOARD ТА ПРОТОКОЛУ MQTT

Корнійчук Олександр Васильович
Рівненський державний гуманітарний університет, бакалавр, korniichuk.oleksandr.ipz@rshu.edu.ua
Шинкарчук Назар Володимирович
Рівненський державний гуманітарний університет, доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, кандидат технічних наук, доцент, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

MONITORING VEHICLE TELEMETRY USING THE THINGSBOARD PLATFORM AND MQTT PROTOCOL

Korniichuk Oleksandr Vasylovych
Rivne State University of the Humanities, Bachelor, korniichuk.oleksandr.ipz@rshu.edu.ua
Shynkarchuk Nazar Volodymyrovych
Rivne State University of the Humanities, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Modeling, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

This paper describes the design and testing of a real-time vehicle telemetry system built on the ThingsBoard IoT platform. A Python simulator generates vehicle data (GPS position, speed, RPM, engine temperature and fuel level) transmitted via MQTT. The system demonstrates live dashboarding and automated alarm notification using open-source tools.

Keywords: Internet of Things (IoT), MQTT, ThingsBoard, vehicle monitoring, telemetry, real-time visualization, Python.

З розвитком Індустрії 4.0, підключений до мережі транспорт перестав бути теоретичною концепцією, на сьогоднішній день – це складна інженерна задача. Сучасний автомобіль, генерує велику кількість інформації: GPS-координати, стан двигуна та батареї, швидкість, температура, рівень та витрата палива, тощо. Ці дані генеруються щосекунди та вимагають значних ресурсів

для їх збору, обробки та зберігання. Організація збору даних, доставка їх до сервера і відображення в зручному та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі ще кілька років тому вимагало суттєвих витрат на підписку до великих хмарних платформ або написання власного проєкту «з нуля». Саме тут на допомогу приходять готові розробки та IoT-платформи з відкритим кодом, вони дозволяють зосередитись на прикладній задачі, а не на розгортанні дороговартісної інфраструктури.

Одним з хороших прикладів таких платформ є Thingsboard Community Edition. Thingsboard CE – це платформа Інтернету речей з відкритим кодом, що розробляється з 2016 року під ліцензією Apache 2.0. Основні задачі: збір, обробка, візуалізація та управління пристроями. ThingsBoard надає вбудований MQTT-брокер, сховище даних (через інтеграцію як з реляційними (PostgreSQL), так і з нереляційними базами даних (Cassandra)) і конструктор дашбордів без написання серверного коду та без оренди хмарного середовища. ThingsBoard підтримує такі протоколи для підключення пристроїв: MQTT, CoAP, HTTP, MQTT Sparkplug, LwM2M, SNMP [1]. У ThingsBoard усе влаштовано наступним чином: платформа здатна приймати дані через будь-який транспортний протокол, адже вона автоматично приводить ці дані до одного вигляду. Це зручно, розробник може у будь-який момент змінити протокол на самому пристрої, при цьому не доведеться переналаштовувати сервер чи дашборд.

Головною особливістю платформи Thingsboard є здатність створювати та налаштовувати власні дашборди для зручної візуалізації даних. Такий функціонал має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і не вимагає знання фронтенд-розробки. Бібліотека вбудованих віджетів охоплює: цифрові та аналогові індикатори, картографічні віджети на базі Google Maps, лінійні та стовпчикові графіки часових рядів, таблиці подій і журнали сповіщень, а також Trip Animation (плеєр-відтворювач геотреків із керуванням).

Rule Engine є основою для логіки обробки подій у ThingsBoard. Він дозволяє будувати ланцюжки правил із вузлів фільтрації, збагачення, трансформації та дії. Для кожного

пристрою або групи пристроїв можна задати порогові значення та умови. Також, є можливість призначити реакцію на події та ситуації: створення alarm, відправку листа на email. У тестовому проєкті налаштовано правило, що генерує «Fuel Alert» рівня «Critical» при падінні рівня палива нижче критичного значення.

Розроблена система побудована за наступною схемою: джерело даних (симулятор автомобіля) → транспортний протокол MQTT → платформа обробки та відображення. Джерелом даних є симулятор транспортного засобу, реалізований мовою Python. Клас VehicleSimulator моделює поведінку автомобіля, його розміщення, стан, температуру і швидкість обертів двигуна, швидкість його руху.

Основним мережевим протоколом було обрано MQTT на основі бібліотеки paho-mqtt. Дані публікуються кожну секунду у форматі JSON. ThingsBoard розгорнуто локально. Пристрій автентифікується через унікальний Access Token. Уся конфігурація (правила обробки, дашборди, тригери) налаштовується засобами вебінтерфейсу платформи.

Після запуску програми-симулятора, дані генеруються та надсилаються до IoT-платфроми ThingsBoard, де і відображаються у режимі реального часу на дашборді (рис. 1.).

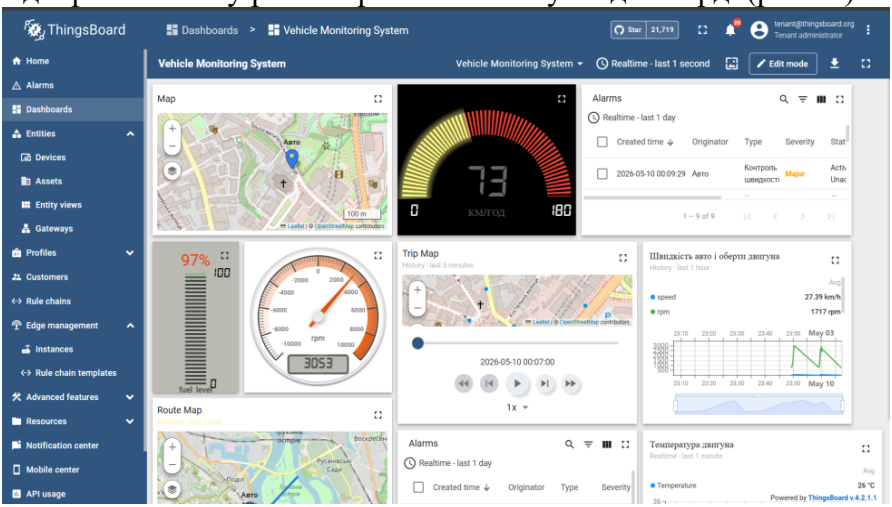


Рисунок 1. Візуалізація отриманих даних в ThingsBoard

Також, відмітимо систему алярмів (alarm) і сигнальних повідомлень. Наприклад, система надсилає алерт «Перевищення швидкості», якщо водій перевищує ліміт у 60 км/год. При цьому, Rule Engine виявляв перевищення допустимої швидкості та сформував відповідне сповіщення. Це підтверджує коректність налаштованих умов та придатність платформи до моніторингу параметрів транспортного засобу у режимі реального часу.

Слід відмітити, що програмний продукт Community Edition, має надто обмежені можливості по масштабуванню та аналітиці, тому при необхідності обробляти дані з великої кількості пристроїв, рекомендуємо використовувати хмарні платформи рівня «ентерпрайз» (наприклад, Microsoft Azure чи Amazon Web Services).

Підсумовуючи, IoT-платформи рівня ThingsBoard придатні для створення системи транспортного моніторингу у проєктах, де головним пріоритетом є швидкість та відносна простота розробки і мінімізація витрат.

Список використаних джерел

1. Device Connectivity Protocols | ThingsBoard Community Edition. URL: https://thingsboard.io/docs/reference/protocols/ (дата звернення: 26.04.2026).

ОГЛЯД ТРЕНДІВ ВЕБДИЗАЙНУ 2025-2026

Корнійчук Лілія Валеріївна
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
студент, кафедра комп'ютерних наук та кібербезпеки
Korniichuk.Liliia2024@vnu.edu.ua

OVERVIEW OF WEB DESIGN TRENDS 2025-2026

Korniichul Liliia Valeriivna
Lesya Ukrainka Volyn National University, student, Department of Computer Science and Cybersecurity
Korniichuk.Liliia2024@vnu.edu.ua

The paper analyzes key web design trends for the period 2025–2026. It was found that the integration of artificial intelligence, the use of asymmetric layouts, and the introduction of interactive elements such as custom cursors and animated posters significantly increase the level of user engagement. Particular attention is paid to the balance between the visual aesthetics of natural forms and the technical adaptability of interfaces in light and dark modes. The proposed review is relevant for designers and developers who strive to create modern, inclusive, and competitive digital products.

Keywords: web design, artificial intelligence, user interface, UX/UI trends, adaptability.

Успіх будь-якого сайту прямо залежить від якості його дизайну. Саме тому важливо не просто знати, які тренди вважаються застарілими, а й слідкувати за новинками. Вебдизайн 2025-2026 років стає розумнішим завдяки штучному інтелекту та новим методикам. Дизайнери щоразу використовують новітні прийоми, щоб утримати зацікавлення користувача.

ШІ дедалі більше використовується дизайнерами при створенні унікальних картинок, зокрема, для вебу. Як показує статистика, 58% фахівців [1], використовують ШІ, щоб створити неповторне зображення. З його допомогою всі бажаючі фахівці можуть довірити нейромережі розробку макету сайту. Також математичні моделі прискорюють робочі процеси, впроваджують

нові ідеї та підвищують якість вебдизайну, де естетика зустрічається з комфортом. Наприклад, бренд Nutella за допомогою штучного інтелекту створив 7 мільйонів унікальних дизайнів для банок із пастою [2].

Основою створення ефективного дизайну є збереження балансу між різними елементами. Повертається мода на вільний простір – інструмент, який відіграє важливу роль у зовнішньому вигляді і формуванні візуального сприйняття контенту. Він використовуються для направлення уваги глядача, кращого розуміння дизайну, поєднання окремих елементів та створення певної естетики. Яскравим прикладом такого дизайну є офіційний сайт компанії Apple (https://www.apple.com/).

Розвиваючи ідею взаємодії з користувачем на рівні деталей, дизайнери переосмислюють роль таких простих елементів, як курсор. Він змінює форму об'єкта, колір і також залишає незвичайні сліди під час руху (https://activetheory.net/work). Навіть прості зміни в дизайні курсору можуть додати унікальності та перетворити просте гортання на інтригуючу взаємодію. [3]

У 2025-2026 роках класична сітка стає більш гнучкою. Асиметричні макети дедалі більше використовуються дизайнерами, щоб відійти від звичайного шаблону і створити особливий вигляд сторінки, як наприклад, зроблено на https://cohere.com/. [4]

Цей відхід від суворих рамок доповнюється поверненням "живих" та природніх форм. Дедалі частіше використовують плавні лінії, текстури природніх елементів (дерева, каменю, піску, глини) в якості заливки певних об'єктів, як наприклад, на сайті https://www.lelabofragrances.eu/it/en/. Природній дизайн допомагає розслабитися, підвищити рівень довіри до бренду та створити відчуття простору. [4]

Щоб поєднати звичайну статичну картинку з ледь помітним рухом, додати сайту динаміки, застосовують анімовані постери. Вони підходять для соціальних мереж, реклами та повідомлень про майбутні події та заходи. Такий дизайн використаний компанією Spotify (https://open.spotify.com/).

Анімовані плакати є ефективним способом розповісти історію, щоб привернути увагу та запам'ятатися, допомагаючи брендам виділитися. [3]

Одним із головних елементів у дизайні залишається типографіка. Великі незвичайні анімовані шрифти привертають увагу користувачів та передають характер бренду, роблять інтерфейс сміливим і незабутнім, як на сайті https://www.dentsu.com/uk/en. [3]

Сучасний вебдизайн характеризується еклектичним підходом до роботи з кольором, що виражається у застосуванні напівпрозорих шарів, насичених градієнтних переходів та сміливих контрастних рішень. Користувачі можуть адаптувати колірну палітру інтерфейсу відповідно до власних уподобань.

Особлива увага приділяється реалізації світлої та темної тем. Розробка якісного темного режиму (Dark Mode) потребує ретельного підбору кольорів і відтінків з дотриманням нормативів контрастності, що забезпечує високу ергономіку та зручність сприйняття інформації за будь-якого рівня освітлення, що підвищує рівень доступності та естетичної виразності продукту [3].

Водночас у 2025-2026 роках спостерігається еволюція дизайну логотипів у бік спрощення графічних форм із додаванням виразних акцентних деталей. Сучасна візуальна айдентика формується на основі пошуку балансу між технічною адаптивністю для мобільних пристроїв та естетичною вишуканістю, що сприяє ефективній ідентифікації та запам'ятовуванню бренду [1]. Це враховано, наприклад, розробниками сервісу Airbnb.

Оглядаючи новітні вебсайти спостерігається використання яскравих кольорів, незвичних шрифтів, анімацій та природних елементів, які стали головними трендами вебдизайну у 2025-2026 роках. Перегляд вебсторінок став зручним і приємним, завдяки адаптації під кожного користувача. Майбутнє дизайну полягає в тому, щоб за допомогою нових технологій зробити вебсторінки простими, зрозумілими та цікавими для кожного.

Список використаних джерел

1. Web Design Statistics 2025: Speed, Accessibility & Color Trends. *SQ Magazine*. URL: https://sqmagazine.co.uk/web-design-statistics/ (date of access: 27.03.2026).

2. Nutella Unica: How algorithms created 7 million unique collectibles. *Aisuma. Supercharge your marketing with the power of generative AI.* URL: https://www.aisuma.ai/en/blogs/nutella-unica-hoe-nutellas-ai-7-miljoen-unieke-potjes-mogelijk-maakte (date of access: 28.03.2026).

3. Watson C. 25 Web Design Trends to Watch in 2025. *DEV Community*. URL: https://dev.to/watzon/25-web-design-trends-to-watch-in-2025-e83 (date of access: 13.04.2026).

4. DreamX. Emerging Web Design Trends to Watch in 2025. *CASES*. URL: https://cases.media/article/emerging-web-design-trends-to-watch-in-2025?srsltid=AfmBOoqPBmEVx_Pf0i2OfS4tN7lHEvQDZxZh6QGaSYIyPgg8Xu-K8h8M (date of access: 04.05.2026).

ПРОЄКТУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ЛОКАЛЬНОГО РОЗГОРТАННЯ МІКРОСЕРВІСНОЇ СИСТЕМИ УНІВЕРСИТЕТУ ЗАСОБАМИ DOCKER COMPOSE

Коротчук Андрій Вікторович
Рівненський державний гуманітарний університет, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю «Комп'ютерні науки», andriykorotchuk345@gmail.com

DESIGNING A LOCAL DEPLOYMENT ENVIRONMENT FOR A UNIVERSITY MICROSERVICE SYSTEM USING DOCKER COMPOSE

Korotchuk Andrii Viktorovych
Rivne State University of the Humanities, second (master's) level higher education student in Computer Science, andriykorotchuk345@gmail.com

The paper considers an approach to organizing a local deployment environment for a microservice information system of a university using Docker Compose. The structure of a multi-repository project, automation of repository cloning, safe transfer of environment variables during container assembly, and features of containerization of heterogeneous services are described.

Keywords: Docker Compose, microservices, containerization, DevOps, multi-repository, environment variables, CI/CD

Вступ

Сучасні університетські інформаційні системи все частіше будуються за мікросервісною архітектурою, де кожен функціональний модуль є окремим незалежним сервісом. Така архітектура забезпечує масштабованість та незалежне розгортання компонентів, проте ускладнює організацію локального середовища розробки [3]. Розробник має одночасно запустити кілька сервісів, базу даних, кеш та фронтенд, зберігаючи при цьому безпеку конфіденційних даних.

Метою роботи є розробка уніфікованого підходу до організації локального середовища розгортання університетської

мікросервісної системи eRSHU, яка включає сервіси авторизації, управління навчальними даними, предметами та оцінками, а також React-клієнт.

Організація мульти-репозиторійної структури

Система eRSHU складається з п'яти незалежних репозиторіїв в організації на GitHub: service-auth (Ktor/Kotlin), service-edebo (FastAPI/Python), service-subjects (Flask/Python), web-client (React/TypeScript) та schedule. Кожен сервіс розробляється та версіонується незалежно.

Для координації середовища розгортання створено окремий репозиторій deploy, який містить виключно файли інфраструктури: docker-compose.yml, .env, setup.sh та README.md. Така структура дозволяє зберігати конфігурацію розгортання незалежно від коду сервісів та уникнути вкладених git-репозиторіїв.

Автоматизацію клонування та оновлення сервісів реалізовано через bash-скрипт setup.sh, який перевіряє наявність кожного репозиторію: якщо папка існує — виконує git pull, якщо ні — git clone. Це дозволяє новому розробнику розгорнути повне середовище трьома командами:

- git clone https://github.com/eRSHU-org/deploy.git
- ./setup.sh
- docker compose up --build

Контейнеризація гетерогенних сервісів

Система включає сервіси на різних технологічних стеках, що потребує індивідуального підходу до контейнеризації кожного. Для Python-сервісів (service-edebo, service-subjects, service-grades) застосовано одноетапну збірку на базі python:3.11-slim з встановленням залежностей через pip. Для React-клієнта використано двоетапну збірку: перший етап на node:20-alpine компілює TypeScript та збирає статичні файли, другий етап на nginx:alpine обслуговує готовий застосунок.

Для Ktor-сервісу (service-auth) застосовано двоетапну збірку з gradle:8-jdk17 для компіляції та eclipse-temurin:17-jre для запуску. Це дозволяє зменшити розмір фінального образу, виключивши інструменти збірки. Окрему увагу приділено

проблемі конфлікту peer-залежностей у React-проєкті, яку вирішено прапором --legacy-peer-deps під час npm ci.

Безпечна передача змінних середовища

Система використовує два типи змінних середовища з різними вимогами до безпеки. Runtime-змінні (параметри підключення до PostgreSQL, Redis, хости сервісів) зберігаються у файлі .env та передаються в контейнери через env_file і environment у docker-compose.yml. Build-time змінні (GOOGLE_CLIENT_ID, GOOGLE_CLIENT_SECRET, JWT_SECRET та інші) запікаються у JAR-файл під час збірки і зберігаються окремо у .env.secret.

Для безпечної передачі секретів під час збірки Docker-образу застосовано механізм Docker BuildKit Secrets. На відміну від ARG, секрети не зберігаються в шарах образу і не видимі через docker history. У Dockerfile секрет монтується лише на час виконання команди збірки [1]:

```
RUN --mount=type=secret,id=env_secret,target=/app/src/main/
resources/.env \
    gradle buildFatJar --no-daemon
```

Обидва файли (.env та .env.secret) додано до .gitignore, що унеможливлює випадкове потрапляння секретів у систему контролю версій. README містить шаблони цих файлів з описом кожної змінної для швидкого онбордингу нових розробників.

Конфігурація Docker Compose

Файл docker-compose.yml описує шість сервісів застосунку та дві інфраструктурні залежності — PostgreSQL 17 та Redis 7. Для забезпечення коректного порядку запуску використано механізм healthcheck з condition: service_healthy, що гарантує готовність бази даних до прийняття з'єднань перед стартом залежних сервісів. Це вирішує поширену проблему, коли depends_on лише чекає запуску контейнера, але не його готовності.

Всі шляхи до сервісів у docker-compose.yml задані відносно репозиторію deploy через префікс ../, що відповідає прийнятій структурі розміщення репозиторіїв в одній батьківській директорії ershu-env. Постійність даних PostgreSQL та Redis

забезпечується через named volumes [2].

Висновки

Розроблений підхід до організації локального середовища розгортання забезпечує відтворюваність середовища розробки незалежно від операційної системи та конфігурації хоста та значно економить час локального розгортання мікросервісів. Мульти-репозиторійна структура з централізованим репозиторієм deploy дозволяє незалежно розвивати кожен мікросервіс, зберігаючи єдину точку входу для розгортання. Застосування Docker BuildKit Secrets унеможливлює витік конфіденційних даних через шари Docker-образу. Автоматизований скрипт setup.sh мінімізує кількість ручних дій при онбордингу нових розробників.

Список використаних джерел

1. Docker Documentation. Build secrets. URL: https://docs.docker.com/build/building/secrets/

2. Docker Documentation. Docker Compose overview. URL: https://docs.docker.com/compose/

3. Newman S. Building Microservices. O'Reilly Media, 2021. 616 p.

ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПАЦІЄНТІВ У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ

Кубах Андрій Миколайович
Луцький національний технічний університет, студент кафедри комп'ютерних наук, a.kubahh@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

DESIGN OF A WEB APPLICATION FOR PATIENT INFORMATION SUPPORT IN A MEDICAL INSTITUTION

Kubakh Andrii
Lutsk National Technical University, student of the Department of Computer Science, a.kubahh@gmail.com
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, Assistant of the Department of Computer Science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents the development of a web application for patient information support in medical institutions. The proposed system provides centralized access to актуальної information about doctors, schedules and medical services. ASP.NET Core, REST API and PostgreSQL were chosen for the implementation.

Keywords: web application, medical information system, ASP.NET Core, REST API, patient support, PostgreSQL.

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяє активній цифровізації різних сфер діяльності, зокрема й охорони здоров'я. Медичні інформаційні системи сьогодні відіграють важливу роль у забезпеченні ефективної взаємодії між пацієнтами та медичними закладами. Особливої актуальності набуває питання швидкого доступу до актуальної інформації про графік роботи лікарів, доступність медичних послуг, зміни у розкладі прийому та інші організаційні аспекти діяльності медичних установ.

Незважаючи на наявність в Україні таких систем, як Helsi, Doc.ua, Health24 та інших платформ цифрової медицини [1], користувачі нерідко стикаються з проблемою недостатньої оперативності оновлення інформації або складністю її пошуку. Часто пацієнти не отримують вчасних повідомлень про зміну графіка прийому лікаря, перенесення консультацій чи тимчасову недоступність спеціаліста. У результаті це призводить до втрати часу, збільшення навантаження на реєстратуру та погіршення якості комунікації між пацієнтом і медичним закладом.

Метою роботи є розробка веб-застосунку для інформаційної підтримки пацієнтів, який забезпечить централізований доступ до актуальної інформації про діяльність медичного закладу. Основними функціями системи є перегляд списку лікарів, отримання інформації про графік прийому, відображення статусу лікаря (приймає, лікарняний, відпустка), а також інформування про доступність медичних послуг та аналізів.

Для реалізації серверної частини системи було обрано мову програмування C# та фреймворк ASP.NET Core. Дане рішення обумовлене високою продуктивністю платформи .NET, підтримкою створення REST API та наявністю вбудованих механізмів безпеки. Крім того, ASP.NET Core забезпечує кросплатформеність та можливість масштабування програмного продукту [2, 3].

Клієнтська частина застосунку реалізована з використанням HTML, CSS та JavaScript. Для створення адаптивного інтерфейсу використовується Bootstrap, що дозволяє забезпечити коректне відображення веб-застосунку на різних типах пристроїв. Такий підхід є доцільним для MVP-версії системи, оскільки дозволяє реалізувати необхідний функціонал без надмірного ускладнення архітектури.

Для організації взаємодії між клієнтською та серверною частинами використовується REST API, а передача даних здійснюється у форматі JSON. Це дозволяє забезпечити швидкий обмін інформацією та спростити інтеграцію між компонентами системи.

У якості системи керування базами даних було обрано

PostgreSQL [4]. Використання реляційної бази даних обумовлене структурованим характером медичної інформації та необхідністю забезпечення цілісності даних. Для роботи з базою даних використовується Entity Framework Core, який реалізує механізм об'єктно-реляційного відображення та спрощує доступ до даних.

Функціональна структура системи включає три основні компоненти: клієнтську частину, серверну частину та базу даних. Користувач взаємодіє з веб-інтерфейсом через браузер, після чого запити передаються до серверної частини, де здійснюється обробка інформації та звернення до бази даних. Результати обробки повертаються користувачу у вигляді структурованих даних.

До основних переваг розробленого веб-застосунку можна віднести централізований доступ до актуальної інформації, зменшення навантаження на працівників реєстратури, підвищення зручності взаємодії пацієнтів із медичним закладом, можливість швидкого оновлення інформації в режимі реального часу, адаптивність інтерфейсу для мобільних пристроїв.

Запропонований підхід дозволяє підвищити ефективність інформаційної взаємодії між пацієнтами та медичними закладами. Розроблений веб-застосунок може бути використаний як основа для подальшого розвитку медичних інформаційних систем, інтеграції електронного запису, систем сповіщення та інших цифрових сервісів у сфері охорони здоров'я.

Список використаних джерел

1. Doc.ua. Онлайн-сервіс запису до лікаря. URL: https://doc.ua/ (дата звернення: 10.05.2026).

2. Freeman A. Pro ASP.NET Core 7. 10th ed. New York: Apress, 2023. 1045 p.

3. Microsoft. ASP.NET Core documentation. URL: https://learn.microsoft.com/aspnet/core/ (дата звернення: 10.05.2026).

4. PostgreSQL Global Development Group. URL: https://www.postgresql.org/docs/ (дата звернення: 10.05.2026).

ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ INITIAL STATE ДЛЯ ЗБОРУ І ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Кузьмич Марія Олександрівна
Рівненський державний гуманітарний університет, бакалавр, kuzmych.mariia.ipz@rshu.edu.ua
Шинкарчук Назар Володимирович
Рівненський державний гуманітарний університет, доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, кандидат технічних наук, доцент, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

USING THE INITIAL STATE PLATFORM FOR COLLECTING AND VISUALIZING INTERNET OF THINGS DATA

Kuzmych Mariia Oleksandrivna
Rivne State University of the Humanities, Bachelor, kuzmych.mariia.ipz@rshu.edu.ua
Shynkarchuk Nazar Volodymyrovych
Rivne State University of the Humanities, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Modeling, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, nazar.shynkarchuk@rshu.edu.ua

The features of using the Initial State cloud platform for working with time series and telemetry in Internet of Things (IoT) solutions are studied. The architectural components of the system are considered, including event reception and processing modules. A description of the practical implementation of the «Weather Station» meteorological data monitoring system using the Python and the OpenWeatherMap API is provided. The process of automated data collection, their transfer to cloud storage and visualization on an interactive dashboard in real time is demonstrated.

Keywords: Internet of Things, data collection, Initial State.

Платформа Інтернету речей Initial State, належить до сучасних хмарних сервісів для роботи з телеметрією та часовими рядами, які генеруються різними IoT-пристроями чи системами

моніторингу або автоматизації. Її функціональність спрямована на забезпечення простого і надійного способу отримання, оброблення, аналізу та візуалізації даних у режимі реального часу.

Вона поєднує в собі інструменти для розробників і аналітиків, дозволяє зменшити час розробки та швидко розгортати інформаційні системи без потреби у створенні власної серверної інфраструктури. Однією з ключових особливостей Initial State, як IoT-платформи, є мінімальна затримка між надсиланням даних та їхнім відображенням на dashboards (дашборди) системи, що робить її ефективною для роботи з критично важливими даними [1].

Загальну структуру платформи Initial State, наведено на рисунку 1.

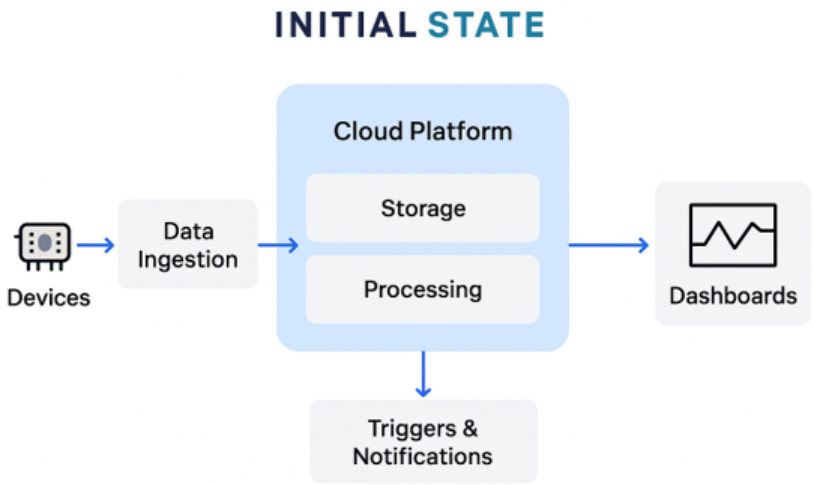


Рисунок 1. Структура платформи Initial State

Initial State включає такі компоненти:

– модуль отримання даних, який забезпечує можливість надсилання подій за допомогою API чи SDK;

– сховище даних, яке оптимізоване для опрацювання часових рядів;

– обробку даних, тобто: структуризація, фільтрація та попередня аналітика;

– модуль тригерів і сповіщень;

– дашборди для візуалізації даних в реальному часі [2].

В підсумку, така структура забезпечує масштабованість та високу швидкодію роботи IoT-платформи.

Initial State реалізує хмарну модель зберігання даних, де вся інформація зберігається у вигляді потоків (streams) та подій (events). Така структура забезпечує гнучкість та масштабованість (хмарні сховища потокового типу, позначення подій, доступ до архівів даних, підтримка автоматичної обробки даних).

Інструменти Initial State забезпечують повний цикл роботи з даними: від збору їх з фізичних IoT-пристроїв до зручного та безпечного збереження у хмарному середовищі [3]. Вони дозволяють реалізувати як прості системи моніторингу, так і складні IoT-рішення.

Розглянемо приклад створення, розгортання і демонстрації проєкту на базі платформи Інтернету речей Initial State.

Для реалізації проєкту «Weather Station» використано сукупність програмних і хмарних інструментів, які забезпечують автоматизований збір, обробку та візуалізацію метеорологічних даних. Основним технічним засобом системи є персональний комп'ютер, який виконує програмний модуль, реалізований мовою програмування Python. Комп'ютер забезпечує доступ до мережі Інтернет, який необхідний для виконання запитів до зовнішнього онлайн API-сервісу OpenWeatherMap і передачі отриманих параметрів та даних у хмарну платформу Initial State. Оброблені дані надсилаються у вигляді сигналів (signal keys), що забезпечує гнучкість у подальшій візуалізації. Для передачі даних використовується бібліотека Python ISStreamer. Дані оновлюються кожні 5 хвилин, Такий інтервал зумовлений лімітами безкоштовного тарифу OpenWeatherMap.

Після запуску програмного модуля написаного на Python, дані починають автоматично надходити до IoT-платфроми Initial State і відображатися у режимі реального часу на dashboards (рис. 2).

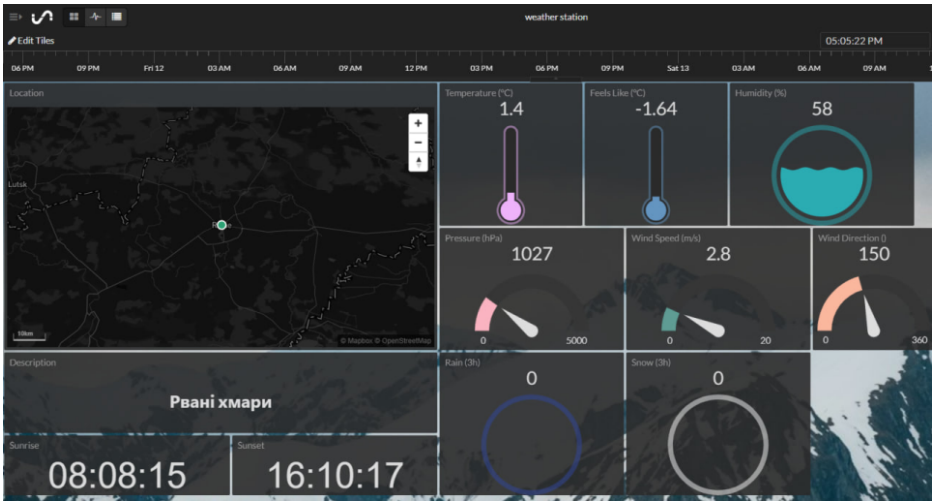


Рисунок 2. Дашборди системи «Weather Station»

Список використаних джерел

1. Initial State – IoT Platform for Data Visualizations. URL: https://www.initialstate.com (дата звернення: 20.04.2026).

2. Initial State – Docs – Using Initial State. URL: https://www.initialstate.com/docs/using-initial-state/ (дата звернення: 22.04.2026).

3. Initial State. Create a Data Bucket and Stream In Data. URL: https://www.initialstate.com/docs/articles/360003857212/ (дата звернення: 25.04.2025).

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Кут Василь Іванович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.т.н, доцент, завідувач кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Ільків Олександр Олександрович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, ilkiv.oleksandr@student.uzhnu.edu.ua

INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING HUMAN HEALTH INDICATORS

Kut Vasyl Ivanovych
Uzhhorod National University, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Ilkiv Oleksandr Oleksandrovych
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, ilkiv.oleksandr@student.uzhnu.edu.ua

An information technology implemented as a web application for the systemic monitoring of health indicators has been developed. The methods for data collection, intelligent processing, and visualization of anthropometry, cardiovascular system state, and physical activity metrics are described. The system optimizes decision-

making for lifestyle modifications and ensures high reliability in analyzing the dynamics of the body's physiological state.

Keywords: information technology, health monitoring, data mining, visualization.

Сучасний стан глобального ринку цифрових послуг у галузі охорони здоров’я демонструє стрімку динаміку зростання попиту на спеціалізовані вебдодатки, які здатні забезпечувати не лише оперативний, а й глибоко персоналізований моніторинг ключових фізіологічних показників користувачів [1]. Така актуальність розробки новітніх платформ зумовлена суттєвим зміщенням акцентів у суспільстві в бік профілактики захворювань, підвищенням рівня самоконтролю за станом власного здоров’я та об’єктивною потребою у швидкому доступі до верифікованих даних для прийняття зважених рішень щодо щоденного способу життя. В умовах сьогодення користувачі дедалі частіше віддають перевагу саме цифровим рішенням, оскільки вони гарантують простоту в експлуатації, забезпечують своєчасне відображення критично важливих даних та відкривають можливості для індивідуалізованого контролю фізичного стану [2]. Динамічна еволюція відповідних сервісів зумовлює необхідність проєктування комплексних платформ, що забезпечують конвергенцію інструментів збору первинних даних, механізмів інтелектуальної обробки, поглибленого аналізу та візуалізації результатів.

Дослідження охоплює етапи розробки інформаційної технології у вигляді вебдодатку, спрямованого на системне управління моніторингом параметрів здоров’я. Функціональні можливості системи охоплюють систематичне введення фізіологічних та поведінкових показників, автоматичне формування персоналізованих рекомендацій, а також побудову детальних статистичних графіків для візуалізації динаміки стану організму. Платформа базується на чіткому покроковому сценарії збору даних, який включає антропометричні характеристики, параметри серцево-судинної системи, тривалість та якість сну, рівень щоденної фізичної активності та обсяг спожитої води. Таке

широке охоплення параметрів дозволяє сформувати максимально повну та точну інформаційну базу, що є необхідною умовою для проведення якісного подальшого аналізу.

Важливою методичною особливістю розробленого рішення є використання суворо визначених одиниць виміру та часових інтервалів, а також наявність опції для додавання текстових приміток до кожного запису. Такий підхід гарантує високий рівень стандартизації та відтворюваності отриманих даних, що дозволяє мінімізувати ймовірні похибки та створити надійний фундамент для подальшої статистичної обробки та автоматичної генерації динамічних графіків. Центральним вузлом архітектури платформи є інтегрована панель управління, яка в режимі реального часу акумулює та відображає актуальний стан здоров'я через систему персоналізованих карток, деталізованих таблиць та інфографіки. Саме така організація інтерфейсу сприяє максимально швидкому сприйняттю інформації людським оком та забезпечує оперативний контроль над критичними змінами в показниках (рис. 1).

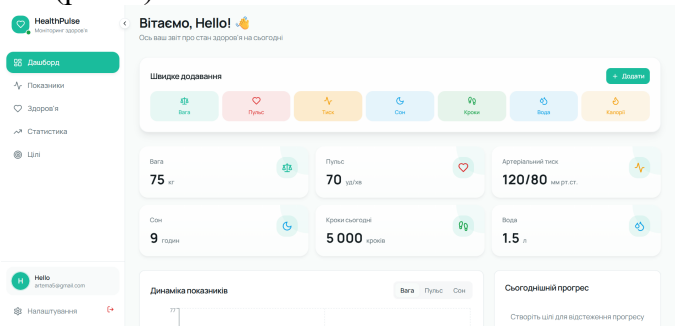


Рисунок 1. Головна сторінка вебдодатку

Аналітичний інструментарій додатка дозволяє користувачеві не лише фіксувати поточні значення, а й відстежувати довгострокові тенденції, порівнювати параметри за різними напрямами та на основі цих даних приймати обґрунтовані рішення щодо корекції режиму дня чи інтенсивності фізичних навантажень. Особливу увагу в процесі розробки приділено модулям управління цілями, де реалізовано гнучку систему коригування параметрів, встановлення цільових значень

та визначення дедлайнів. Це значно посилює рівень персоналізації моніторингу та сприяє формуванню у користувача стійких та ефективних стратегій підтримки здоров'я на довгострокову перспективу.

Перспективним напрямком розвитку системи є інтеграція розширеного функціонала безпеки, що включатиме багаторівневу автентифікацію, розширене управління профілем користувача та впровадження двофакторної авторизації. Реалізація цих заходів дозволить забезпечити безкомпромісну захищеність персональної медичної інформації та повністю відповідати сучасним міжнародним вимогам до цифрової безпеки.

Реалізований програмний інструментарій оптимізує збір та інтелектуальний аналіз даних у сфері e-health, прискорюючи оцінку фізичного стану. Як інтегрована платформа підтримки прийняття рішень, продукт забезпечує комплексний моніторинг через поєднання обробки та візуалізації показників. Висока наочність і достовірність інформації підвищують ефективність контролю за фізіологічними параметрами, створюючи надійну основу для подальшого масштабування та впровадження інноваційних цифрових медичних сервісів.

Список використаних джерел

1. Machorro-Cano, I., Olmedo-Aguirre, J. O., Alor-Hernández, G., & et al. (2024). Cloud-based platforms for health monitoring: A review. Informatics, 11(1), Article 2. https://doi.org/10.3390/informatics11010002.

2. Boloban, O., Pysmennyi, I., Kyslyi, R., & Kyriusha, B. (2024). Development of a patient health monitoring system based on a service-oriented architecture using artificial intelligence. Technology Audit and Production Reserves, 3(2(77)), 23–29. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.306622.

3. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Circulation, 93(5), 1043–1065. https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043.

АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ХОСТИНГУ З UI-ЕЛЕМЕНТАМИ КЕРУВАННЯ СЕРВЕРОМ

Кут Василь Іванович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.т.н, доцент, завідувач кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Куруца Роман Романович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, kurutsa.roman@student.uzhnu.edu.ua

ARCHITECTURE OF A WEB-BASED HOSTING INFORMATION SYSTEM WITH UI ELEMENTS FOR SERVER MANAGEMENT

Kut Vasyl Ivanovych
Uzhhorod National University, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Kurutsa Roman Romanovych
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, kurutsa.roman@student.uzhnu.edu.ua

This paper proposes a scalable microservices architecture for a web-oriented hosting information system that simplifies VPS/VDS management through a graphical interface. Implemented in Go, the system decomposes functionality into five services – OAuth, Backend API, Payment, Server Management, and Agent – communicating via

gRPC with mutual TLS. Security relies on Ed25519-signed JWT rotation with Valkey-based allow-lists, while the Agent uses systemd socket activation to minimize the attack surface.

Keywords: microservices architecture, web hosting information system, gRPC, mutual TLS, JWT authentication.

Сучасні хостинг-сервіси прагнуть знижувати поріг входження для користувачів шляхом спрощення виконання типових задач деплою на VPS/VDS-серверах з CLI у графічному інтерфейсі. Засоби безпеки, які має реалізовувати подібна інформаційна система, було проаналізовано та сформульовано у вигляді переліку архітектурних вимог [1]. Принципи декомпозиції мережевих систем на функціональні компоненти з чітко визначеними інтерфейсами взаємодії сягають класичних архітектур, таких як IBM Systems Network Architecture [2], проте сучасні веб-орієнтовані хостинг-платформи потребують переосмислення цих підходів з урахуванням специфіки мікросервісного підходу та контейнеризації. Однак питання, як саме повинна бути зпроєктована та реалізована система, які компоненти вона має містити, є відкритим. Монолітна реалізація для такого роду систем не дозволить повноцінно використовувати обчислювальні ресурси та з легкістю розгортати дублікати інформаційної системи хостингу в різних локаціях.

Метою дослідження є проєктування мікросервісної архітектури веб-орієнтованої інформаційної системи хостингу з UI-елементами керування VPS та VDS, задання меж відповідальності кожного мікросервісу, придатної до масштабування.

Спроєктована система реалізована на мові Go та складається з п’яти мікросервісів: OAuth Service, Backend API, Payment Service, Server Management Service та Agent, зони відповідальності (табл. 1). Усі публічні запити проходять через проксі Nginx, який також виконує функцію балансувальника навантаження. Agent виконується на стороні клієнтського віртуального сервера у Docker-контейнері. Детальніше про ролі мікросервісів

Внутрішня мережа сервісів організована як Virtual Private Cloud, публічний доступ до якої можливий виключно через Nginx.

Взаємодія між Backend API та Server Management Service здійснюється за протоколом gRPC зі взаємною TLS-автентифікацією (mTLS), а додатковий IP-білий список обмежує клієнтів Server Management Service лише адресами Backend API. Контракт каналу описано Protobuf-схемами, що унеможливлює виконання довільних інструкцій.

Окремої уваги вимагає OAuth Service. Access-токени підписуються алгоритмом Ed25519 з ротацією ключових пар кожні 24 години та годинним вікном перекриття, протягом якого попередній та новий публічні ключі залишаються чинними для аутентифікації. Стан токенів зберігається у Valkey; для координації одночасної генерації ключів між кількома копіями сервісу застосовано розподілений мютекс. Механізм allow-list ідентифікаторів токенів дозволяє негайно відкликати токен при виході з облікового запису, попри чинний підпис.

VPS Agent виконується у Docker-контейнері в межах Tenant VPC та не відкриває мережевий сокет самостійно: listening socket відкриває host systemd і передає файловий дескриптор у контейнер через механізм socket activation. Server Management Service встановлює gRPC-з'єднання з Agent через mTLS, а правила nftables на хост-системі пропускають з'єднання тільки з його IP. Системні команди з контейнера виконуються через systemd socket bridge під обмеженим користувачем.

Таблиця 1. Декомпозиція мікросервісів інформаційної системи

OAuth	Реєстрація, вхід, 2FA, видача та ротація JWT	HTTPS	PostgreSQL + Valkey (jwt:*, refresh:*, access_token:*)	Ed25519, ротація ключів, allow-list jti
Backend API	Каталог, керування ресурсами юзера	HTTPS gRPC	PostgreSQL + Valkey (catalog:*, stock:*)	Валідація JWT через JWKS, RBAC
Payment	Створення інвойсів, обробка webhook-ів провайдерів	HTTPS webhook	PostgreSQL (invoices, payments)	Перевірка webhook, ідемпотентність за provider_ref
Server Management	Провізіонінг, життєвий цикл сервера, облік слотів	gRPC + mTLS	PostgreSQL (physical_machine_slots) + Valkey (provision:lock)	mTLS, SELECT FOR UPDATE, блокування
VPS Agent	Виконання whitelisted-команд на VPS клієнта	gRPC + mTLS,	Лише оперативна пам'ять (Zero Persistent Secrets)	socket activation (systemd), ACL, обмжений користувач

Для довгострокового зберігання обрано PostgreSQL із розширенням TimescaleDB, що поєднує надійність реляційної моделі з ефективною обробкою часових рядів метрик ресурсів та біллінгу; для тимчасових даних користувачів та ключів аутентифікації використано NoSQL-сховище ключ-значення Valkey.

Таким чином, спроєктовано мікросервісну архітектуру інформаційної системи веб-хостингу з UI-керуванням VPS/VDS, у якій п’ять сервісів з чіткими зонами відповідальності публічно взаємодіють через Nginx за HTTPS, а внутрішньо – через gRPC з mTLS. Архітектура реалізує описані у попередній роботі механізми безпеки, розподіляючи їх між компонентами так, щоб компрометація окремого сервісу не призводила до порушення безпеки усієї системи. Запропоновані рішення можуть слугувати основою подальшої реалізації UI-орієнтованих хостинг-платформ.

Список використаних джерел

1. Liakh, I., Morokhovych, V., Kurutsa, R., & Chukhrai, Ya. (2026). Security in the operation of hosting services with UI server control elements. In *Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference “Innovation and Development in World Science”* (pp. 127–131). MDPC Publishing. https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2026/03/INNOVATION-AND-DEVELOPMENT-IN-WORLD-SCIENCE-2-4.03.26.pdf.

2. Pozefsky, D. P., Pitt, D. A., & Gray, J. P. (1989). IBM’s Systems Network Architecture. In C. A. Sunshine (Ed.), *Computer network architectures and protocols* (pp. 379–411). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0809-6_16.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Кут Василь Іванович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.т.н, доцент, завідувач кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Яворський Петро Володимирович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», доктор філософії, старший викладач кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, yavorskyi.petro@uzhnu.edu.ua
Немеш Іван Олександрович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, ivan.nemesh1@student.uzhnu.edu.ua

INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING SCIENTIFIC RESEARCH

Kut Vasyl Ivanovych
Uzhhorod National University, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.kut@uzhnu.edu.ua
Yavorskyi Petro Volodymyrovych
Uzhhorod National University, PhD, Senior Lecturer of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, yavorskyi.petro@uzhnu.edu.ua
Nemesh Ivan Oleksandrovich
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, ivan.nemesh1@student.uzhnu.edu.ua

The paper substantiates the relevance of developing information systems to support scientific research in the context of growing data volumes and the digital transformation of science. A conceptual system model is proposed, based on a modular, scalable, and interoperable architecture that incorporates modern technologies, including cloud computing and artificial intelligence methods. It is demonstrated that the implementation of such a system contributes to improving the efficiency, reliability, and openness of scientific research.

Keywords: information system, scientific research, data architecture, digitalization of science.

У сучасних умовах цифровізації науки обсяг емпіричних даних постійно зростає, що вимагає впровадження автоматизованих рішень для їх обробки, зберігання та систематизації. Традиційні методи менеджменту наукової інформації поступаються спеціалізованим інформаційним системам (ІС), які забезпечують цілісність даних та інтероперабельність дослідницьких процесів. Розробка інформаційної системи для підтримки наукових досліджень постає як один із пріоритетних напрямів еволюції сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в умовах інтенсивної цифрової трансформації наукової сфери. Динамічне зростання обсягів даних, що генеруються у процесі дослідницької діяльності, ускладнення наукових задач, а також посилення тенденцій до міждисциплінарної інтеграції формують об'єктивну потребу у створенні високоефективних, інтелектуалізованих програмно-інформаційних систем. Такі системи повинні забезпечувати комплексну підтримку повного життєвого циклу наукового дослідження – від формалізації проблемної області, постановки задач і планування експериментів до інтерпретації результатів, їх верифікації та поширення у науковому середовищі[1].

Метою дослідження є проєктування та обґрунтування архітектури інформаційної системи, спрямованої на оптимізацію життєвого циклу наукового дослідження – від збору первинних даних до верифікації результатів. Це передбачає автоматизацію рутинних процедур, зниження впливу суб'єктивних чинників і впровадження централізованого управління даними. Важливим також є забезпечення інтеграції різнорідних (структурованих і неструктурованих) джерел інформації та ефективної взаємодії учасників досліджень у розподіленому середовищі.

Архітектура системи має базуватися на принципах модульності, масштабованості, інтероперабельності та відмовостійкості, передбачаючи виділення функціональних підсистем. Зокрема, підсистема управління науковими проєктами забезпечує планування, моніторинг, координацію ресурсів і

оцінювання ефективності, тоді як підсистема управління даними відповідає за накопичення, формалізацію, зберігання й індексацію наукової інформації та метаданих[2].

Аналітична підсистема виступає ядром системи, реалізуючи статистичний аналіз, інтелектуальну обробку даних, моделювання та візуалізацію результатів. Її можливості можуть бути розширені інтеграцією методів машинного навчання для автоматизованого виявлення закономірностей, класифікації, прогнозування та підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності.

Підсистема підтримки колективної роботи забезпечує ефективну комунікацію дослідників, спільну роботу з документами, управління версіями та контроль доступу до ресурсів. Інтеграція із зовнішніми середовищами (наукометричними базами, електронними бібліотеками, відкритими репозитаріями та бібліографічними системами) автоматизує пошук, збір і аналіз наукової інформації, підвищуючи обґрунтованість і релевантність результатів досліджень. На рис. 1 представлено діаграму прецедентів, яка візуалізує функціональні можливості системи [3].

Рисунок 1. UML-діаграма прецедентів

Технологічна реалізація інформаційної системи ґрунтується на сучасних підходах розробки, зокрема сервіс-орієнтованій архітектурі та мікросервісах, що забезпечують гнучкість,

масштабованість і поступовий розвиток. Використання хмарних технологій підвищує доступність системи, оптимізує обчислювальні ресурси та знижує витрати на інфраструктуру, а інтеграція технологій штучного інтелекту розширює можливості автоматизації аналітичних процесів і підтримки досліджень.

Важливою складовою є забезпечення інформаційної безпеки, що включає автентифікацію й авторизацію користувачів, криптографічний захист, резервне копіювання та відновлення даних, а також дотримання нормативних вимог. Система також має відповідати принципам відкритої науки, забезпечуючи доступ до результатів досліджень, підтримку стандартів обміну даними та інтероперабельність із міжнародними науковими платформами.

Таким чином, розробка інформаційної системи підтримки наукових досліджень є комплексним завданням, що поєднує методологічні, технологічні та організаційні аспекти. Її впровадження підвищує продуктивність наукової діяльності, забезпечує якість і достовірність результатів та сприяє формуванню сучасного інноваційного середовища в наукових і освітніх установах.

Список використаних джерел

1. Ashiq, M., Usmani, M. H., & Naeem, M. (2020). A systematic literature review on research data management practices and services. Global Knowledge, Memory and Communication. https://doi.org/10.1108/GKMC-07-2020-0103

2. Feng, Z., Li, W., Dang, N., Ding, X., & Chen, Z. (2022). Research on scientific research information management system under the background of big data. In Proceedings of the International Conference on Modern Education and Information Management. Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-044-2_93

3. Ivanova, S. M., Kilchenko, A. V., & Novytska, T. L. (2024). Open educational and scientific information systems as a tool for monitoring electronic scientific publications. Scientific Notes of the Junior Academy of Sciences of Ukraine. https://doi.org/10.51707/2618-0529-2024-31-03

СИСТЕМА СЕМАНТИЧНОГО ПОШУКУ У ВІДЕОКОНТЕНТІ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЧНОЇ ТРАНСКРИПЦІЇ ТА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ВЕЛИКОЇ МОВНОЇ МОДЕЛІ

Левицький Олесь Васильович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, кафедра програмного забезпечення комп'ютерних систем, oleslevytskiy@gmail.com
Д'яченко Лілія Іванівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, l.dyachenko@chnu.edu.ua

VIDEO CONTENT SEMANTIC SEARCH SYSTEM BASED ON AUTOMATIC TRANSCRIPTION AND A MULTIMODAL LARGE LANGUAGE MODEL

Oles Levytskyi
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Bachelor's student, Department of Computer Systems Software, oleslevytskiy@gmail.com
Liliia Diachenko
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Systems, l.dyachenko@chnu.edu.ua

The paper presents a locally oriented system for semantic search in video content based on automatic speech transcription and a multimodal large language model. The system extracts audio and frames from video files, generates transcription, creates structured video descriptions and vectorizes them for natural language search.

Keywords: video content, semantic search, automatic transcription, multimodal large language model, local execution, vector indexing, embeddings.

Сучасні інформаційні системи накопичують значні обсяги відеоконтенту, що ускладнює пошук потрібної інформації. Пошук за назвою, описом або ручними тегами не дає змоги повноцінно працювати зі змістом відео, оскільки важлива інформація часто міститься в мовленні, кадрах, екранному тексті та послідовності подій.

Можливість локального виконання таких систем набуває практичного значення, оскільки сучасне персональне обладнання має достатньо ресурсів для запуску компактних мультимодальних моделей із підтримкою обробки зображень. Це дозволяє виконувати транскрипцію, мультимодальний аналіз, векторизацію та семантичний пошук без обов'язкового використання зовнішніх хмарних сервісів.

Метою роботи є розробка локально орієнтованої системи семантичного пошуку у відеоконтенті, що поєднує автоматичну транскрипцію мовлення, аналіз кадрів мультимодальною великою мовною моделлю та векторне індексування результатів.

Запропонована система має два етапи: індексацію відеоконтенту та пошук за природномовним запитом користувача. Під час індексації з відеофайлу вилучаються аудіо та кадри, формується транскрипція, виконується мультимодальний аналіз і векторизація описів. Для підвищення точності пошуку відео подається не лише як єдиний об'єкт, а й як набір описових фрагментів з орієнтовними часовими мітками. Додатково система підтримує семантичний пошук за текстом транскрипцій і опціональне лексичне повторне ранжування результатів (lexical rerank). Цей режим враховує точні збіги слів між запитом і проіндексованими описами, що може покращувати пошук за окремими короткими словами, назвами або специфічними термінами. Він використовується як додатковий механізм уточнення, оскільки для загальних семантичних запитів базовий векторний пошук зазвичай буде достатнім (рис. 1).

Для попередньої обробки медіаданих використовується FFmpeg, який забезпечує витягування аудіодоріжки та кадрів із відеофайлу. Частота вибірки кадрів розраховується з урахуванням тривалості відео та максимально допустимої кількості кадрів, що

зменшує обчислювальне навантаження на модель.

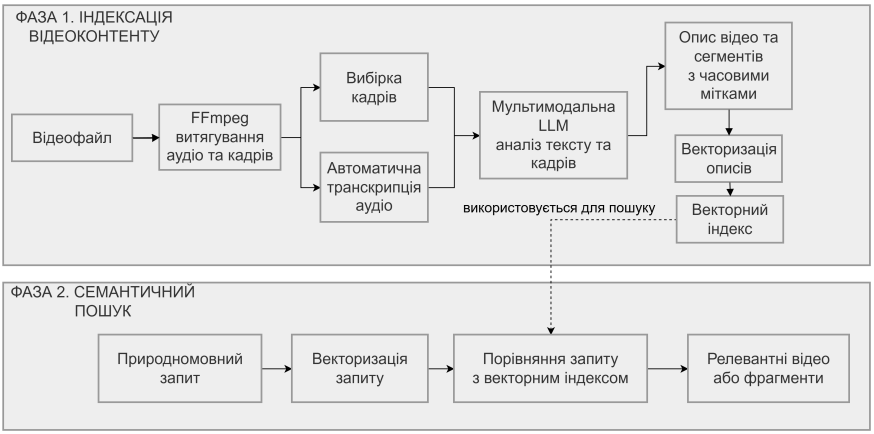


Рисунок 1. Узагальнена схема індексації відеоконтенту та семантичного пошуку

Автоматична транскрипція аудіо перетворює мовлення на текст, який далі використовується як окреме джерело інформації та як контекст для мультимодального аналізу. Це дає змогу враховувати не лише візуальні об’єкти, а й зміст аудіодоріжки.

Мультимодальна велика мовна модель отримує кадри відео та текст транскрипції, після чого формує стислий опис відео і групує послідовні кадри у смислові сегменти. Для таких сегментів визначаються орієнтовні часові межі на основі міток відповідних кадрів.

Семантичний пошук реалізується на основі векторних представлень тексту. Описи відео та сегментів використовуються для побудови індексу, а запит користувача перетворюється на вектор і порівнюється із записами індексу. Завдяки цьому система може знаходити релевантні відео або фрагменти навіть без точного збігу ключових слів.

Оцінювання ефективності системи може здійснюватися за допомогою стандартних метрик інформаційного пошуку, таких як точність (precision), повнота (recall) та F1-міра. Для забезпечення роботи в умовах обмежених ресурсів доцільно застосовувати оптимізовані моделі та методи зменшення розмірності векторних представлень, зокрема квантизацію або ефективні структури

індексації.

Практична цінність системи полягає в автоматизації роботи з відеоархівами. Користувач отримує можливість шукати не лише файл загалом, а й окремі фрагменти, пов'язані зі змістом запиту, що зменшує потребу в ручному перегляді матеріалів. Додатково можливе впровадження інтерактивних механізмів уточнення запитів, що дозволяє підвищити релевантність результатів пошуку.

У роботі запропоновано локально орієнтовану систему семантичного пошуку у відеоконтенті, що поєднує автоматичну транскрипцію, мультимодальний аналіз та векторне індексування. Локальне виконання основних етапів зменшує залежність від зовнішніх сервісів і може бути доцільним для роботи з приватними або великими відеоархівами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оцінювання точності пошуку та оптимізацію швидкодії.

Список використаних джерел

1. Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. arXiv:2212.04356. https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.04356.
2. Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. arXiv:1908.10084. https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.10084.
3. Qwen Team. (2026). Qwen3.5: Towards Native Multimodal Agents. Qwen Blog. Retrieved from https://qwen.ai/blog?id=qwen3.5.

ВПРОВАДЖЕННЯ ПІДХОДІВ SEO-ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Левченко Максим Андрійович
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, студент 4 курсу факультету прикладної математики та інформаційних технологій, maksimlevchnko@gmail.com
Білобородько Оксана Іванівна
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій, канд. техн. наук, sanaua2@gmail.com

IMPLEMENTATION OF SEO OPTIMIZATION APPROACHES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF E-COMMERCE

Levchenko Maksym Andriyovych
Oles Honchar Dnipro National University, 4th-year student of the Faculty of Applied Mathematics and Information Technologies, maksimlevchnko@gmail.com
Biloborodko Oksana Ivanivna
Oles Honchar Dnipro National University, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Information Technologies, sanaua2@gmail.com

The work considers a comprehensive approach to implementing technical SEO optimization measures at the stage of architectural design of an e-commerce platform. The features of using server-side rendering, dynamic metadata generation, and the implementation of JSON-LD micro-markup to improve the visibility of the website in search engines are analyzed. The results of practical testing of the developed solution and performance audit data using modern monitoring tools are presented.

Keywords: e-commerce, SEO optimization, server-side rendering, JSON-LD, micro-markup, Next.js, Google Search Console.

Стрімкий розвиток цифрової економіки та висока

конкуренція на ринку електронної комерції вимагають від розробників програмного забезпечення інтеграції інструментів пошукового просування безпосередньо в архітектуру вебзастосунків. Традиційні методи маркетингового просування стають менш ефективними без належної технічної бази, яка забезпечує швидку індексацію та високу швидкість завантаження сторінок. Метою даної роботи є дослідження та впровадження програмних рішень для підвищення ефективності інтернет-магазину через автоматизацію процесів SEO-оптимізації на базі сучасного технологічного стеку.

У сучасній розробці e-commerce проєктів SEO стає базовою складовою архітектури, забезпечуючи відповідність технічних параметрів сайту вимогам пошукових алгоритмів для швидкої індексації та ранжування. Ключовим фактором тут є вибір стратегії рендерингу. На відміну від клієнтського рендерингу в SPA, що ускладнює роботу пошукових ботів через завантаження контенту скриптами, серверний рендеринг (SSR) надає вже сформовану структуру сторінки. Це гарантує миттєве зчитування ієрархії сайту та метаданих [1].

Важливу роль у процесі просування відіграє робота з динамічними метаданими та семантичною структурою. Для інтернет-магазину критично важливо автоматично генерувати унікальні заголовки та описи для кожної картки товару, використовуючи релевантні ключові слова. Використання протоколу Open Graph додатково посилює соціальні сигнали через коректне відображення посилань у соціальних мережах. Семантична розмітка за допомогою стандартних HTML-тегів покращує зрозумілість структури роботам. Ефективне керування індексацією досягається через налаштування технічних файлів robots.txt та sitemap.xml. Перший вказує роботам на розділи, які слід ігнорувати для збереження краулінгового бюджету, а другий прискорює виявлення нових товарів [2].

Програмна реалізація системи на базі фреймворку Next.js дозволяє впровадити стратегію статичної генерації з використанням інструкції force-static. Це забезпечує миттєве надання сторінок користувачам із кешу, а механізм

інкрементальної статичної регенерації (ISR) гарантує актуальність даних про ціни та наявність товарів без необхідності повної перебудови проєкту.

Система керування метаданими в проєкті побудована на поєднанні статичних описів для службових сторінок та динамічної генерації для каталогу. Сучасним етапом розвитку технічного SEO стало впровадження структурованих даних Schema.org у форматі JSON-LD. Це дозволяє передавати пошуковим системам деталізовану інформацію про ціну, валюту, наявність та умови доставки у вигляді об'єктів Product та Offer.

Для верифікації впроваджених підходів розроблений вебзастосунок (voltio.click) було розгорнуто в реальному мережевому середовищі на базі інфраструктури AWS та сервісу Cloudflare. Використання протоколу IPv6 та проксіювання трафіку забезпечило високу доступність при мінімальних витратах. Після розгортання було проведено тестування візуальної привабливості посилань у месенджері Telegram, що підтвердило коректність роботи Open Graph розмітки (рис. 1).

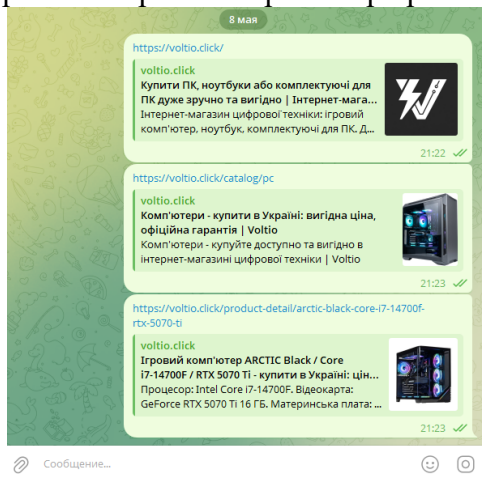


Рисунок 1. Перевірка відображення Open Graph розмітки в інтерфейсі месенджера

Було проведено тестування видимості сторінок за релевантними ключовими запитами у пошуковій системі Google. Під час запиту за назвою конкретного виробника сторінка товару

зайняла високу позицію у видачі з відображенням розширеного сніпета, що містить ціну та статус наявності (рис. 2). Також було зафіксовано здатність системи ранжуватися за менш специфічними запитами, де сторінки зберігають свою інформативність завдяки мікророзмітці. Впровадження атрибутів ALT для медіафайлів забезпечило додаткове джерело трафіку через пошук за зображеннями. Таким чином, інтеграція SEO-інструментів безпосередньо в код на етапі розробки дозволяє створити конкурентоспроможний продукт, готовий до ефективного просування в умовах сучасного ринку електронної комерції.

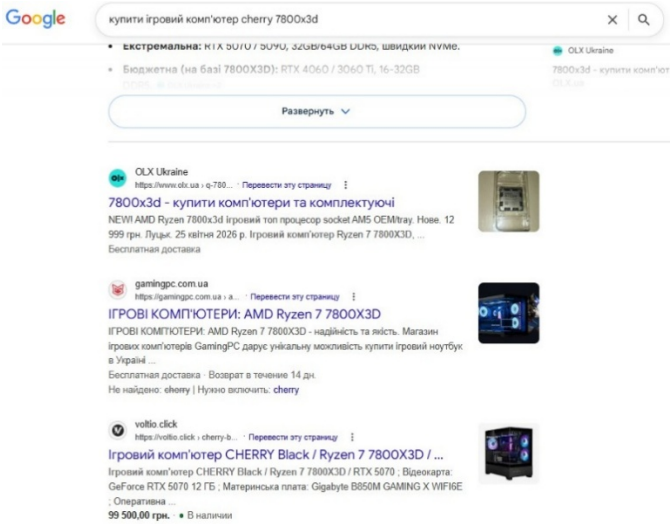


Рисунок 2. Відображення розширених сніпетів товару у пошуковій видачі Google

Список використаних джерел

1. Розбираємо фреймворк Next.JS: визначення, призначення та переваги. URL: https://wezom.com.ua/ua/blog/rozbirajemo-freymvork-nextjs-viznachennya-priznachennya-ta-perevagi/ (дата звернення: 10.05.2026).

2. SEO для інтернет-магазину: усі технічні нюанси. URL: https://www.site2b.ua/ua/web-blog-ua/seo-dlya-internet-magazinu-usi-texnichni-nyuansi.html (дата звернення: 10.05.2026).

АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ IOT-СИСТЕМИ ДОМАШНЬОГО КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДОМАШНІХ ТВАРИН

Ліщина Валерій Олександрович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук,
v.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua
Чарук Владислав Русланович
Луцький національний технічний університет, аспірант,
aspirant_2024_charuka@lntu.edu.ua

ARCHITECTURE OF A CYBER-PHYSICAL IOT-BASED HOME CLIMATE CONTROL SYSTEM FOR PETS

Valerii Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, Head of the Computer Science Department,
v.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua
Vladyslav Charuk
Lutsk National Technical University, Postgraduate Student,
aspirant_2024_charuka@lntu.edu.ua

The article presents an IoT-based energy-efficient home climate control system for ensuring safe conditions for pets. An architecture based on Raspberry Pi integrates sensors, actuators, and remote control to monitor temperature, humidity, air quality, and lighting. Adaptive control algorithms and IoT technologies enable real-time data processing and automated microclimate regulation. The proposed solution is a scalable smart home component for maintaining comfortable and safe environments for pets under changing external conditions.

Keywords: IoT systems, smart home, climate control.

Кіберфізичні IoT-системи домашнього клімат-контролю поєднують програмні та апаратні компоненти, сенсорні мережі, хмарні сервіси, засоби обробки даних і алгоритми автоматичного керування. Їх використання, яке описане у роботах [1,2] дозволяє

реалізувати енергоефективний підхід до підтримки оптимального мікроклімату шляхом динамічного регулювання роботи систем опалення, вентиляції, кондиціонування та зволоження повітря залежно від поточного стану середовища та поведінкових характеристик тварини. Особливого значення набувають програмні технології розробки таких систем [3], оскільки саме програмне забезпечення забезпечує інтеграцію пристроїв, аналіз сенсорних даних, прийняття рішень та віддалений моніторинг.

Метою даної статті є дослідження та аналіз програмних технологій розробки кіберфізичної IoT-системи енергоефективного адаптивного автоматизованого домашнього клімат-контролю для котів, а також визначення архітектурних підходів, методів взаємодії компонентів системи та засобів забезпечення адаптивності й енергоефективності функціонування.

Запропонована система базується на використанні мікрокомп'ютера Raspberry Pi як центрального вузла обробки даних та координації роботи виконавчих пристроїв. Такий підхід забезпечує гнучкість конфігурації, масштабованість та можливість інтеграції із сучасними IoT-платформами. До складу системи входять сенсорні модулі контролю температури, вологості, якості повітря та освітленості, дані з яких аналізуються для формування керуючих впливів.

Важливим аспектом дослідження є інтеграція технологій Інтернету речей, хмарних сервісів та інтелектуального аналізу даних для формування адаптивної поведінки системи. Використання методів прогнозування та елементів машинного навчання дозволяє враховувати закономірності зміни температурного режиму, активність тварин та зовнішні кліматичні фактори, що сприяє більш точному налаштуванню параметрів мікроклімату. Центральним елементом системи виступає мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який виконує функції збору, аналізу та обробки інформації, а також формування керуючих сигналів для виконавчих модулів (Рис.1). Використання даної платформи забезпечує достатню обчислювальну потужність, підтримку мережевих технологій та можливість

інтеграції з великою кількістю периферійних пристроїв і сенсорів. Крім того, відкрита архітектура програмного забезпечення дозволяє реалізовувати адаптивні алгоритми керування та масштабувати систему відповідно до потреб користувача. Функціональна структура системи складається з декількох основних рівнів: сенсорного блоку, блоку обробки та логіки, виконавчого рівня, модуля зв'язку та підсистеми віддаленого моніторингу. На сенсорному рівні (Рис.2) використовуються датчики температури, вологості, якості повітря, освітленості та активності тварини.

Рисунок 1. Виконавчий блок

Передача даних від сенсорів до центрального контролера здійснюється через інтерфейси GPIO, I2C та 1-Wire. На етапі первинної обробки програмне забезпечення виконує фільтрацію

та усереднення отриманих значень з метою усунення шумів та підвищення достовірності вимірювань. Після цього дані надходять до логічного модуля аналізу, де відбувається порівняння поточних параметрів із заданими пороговими значеннями та визначення оптимального режиму роботи системи.

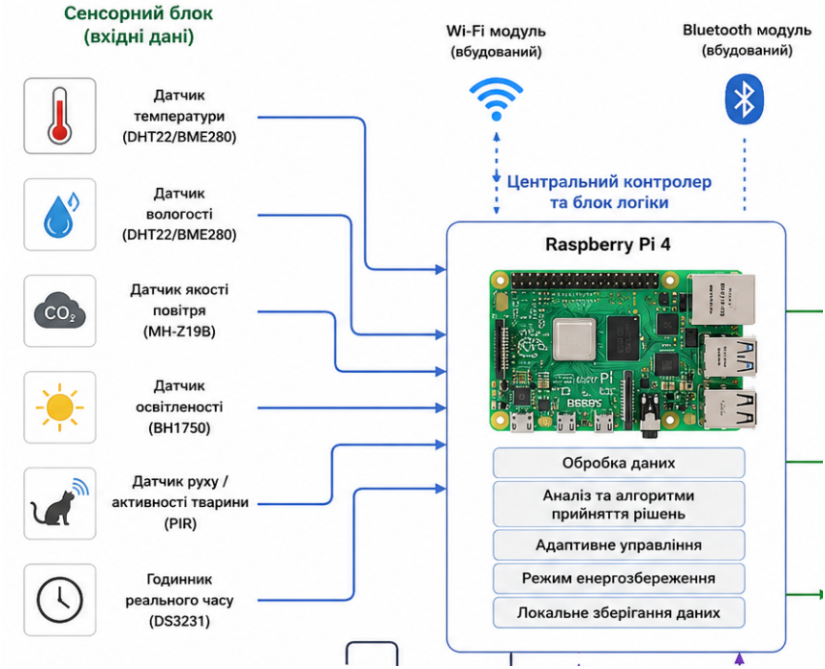


Рисунок 2. Сенсорний блок

Блок логіки керування реалізує алгоритми автоматичного прийняття рішень щодо зміни параметрів мікроклімату. Система підтримує декілька режимів функціонування: автоматичний, ручний, енергозберігаючий та режим роботи за розкладом. В автоматичному режимі програмне забезпечення самостійно аналізує умови середовища та формує команди для виконавчих пристроїв без втручання користувача. Ручний режим дозволяє оператору змінювати параметри через вебінтерфейс або мобільний застосунок. Енергозберігаючий режим оптимізує інтенсивність роботи обладнання з метою зниження споживання електроенергії.

Таким чином, запропонована архітектура кіберфізичної IoT-системи забезпечує комплексний підхід до автоматизованого керування мікрокліматом для домашніх тварин. Інтеграція сучасних програмних технологій, сенсорних систем та адаптивних алгоритмів керування дозволяє створити енергоефективне та масштабоване рішення для підтримки комфортних і безпечних умов утримання тварин у середовищі «розумного» дому. Практична цінність запропонованого підходу полягає у підвищенні рівня автоматизації процесів догляду за домашніми тваринами, зменшенні впливу людського фактору та забезпеченні стабільних і безпечних умов утримання. Реалізація таких систем створює передумови для розвитку сучасних інтелектуальних рішень у сфері «розумного» дому та автоматизованого контролю мікроклімату для домашніх тварин.

Список використаних джерел

1. Souza Granja Barros, J., Rossi, L.A. & Sartor, K. PID temperature controller in pig nursery: improvements in performance, thermal comfort, and electricity use. Int J Biometeorol 60, 1271–1277 (2016). https://doi.org/10.1007/s00484-015-1122-7

2. Juliana de Souza Granja Barros, Luiz Antonio Rossi, Zigomar Menezes Souza. PID temperature controller in pig nursery: spatial characterization of thermal environment. International Journal of Biometeorology, 62, 773–781 (2018).

3. Verghese, G., Voroslakos, M., Markovic, S., Tal, A., Dehkharghani, S., Yaghmazadeh, O., Alon, L. Autonomous animal heating and cooling system for temperature-regulated MR experiments. arXiv preprint, 2023..

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ОСНОВА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ У КОНТЕКСТІ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Любименко Олена
Донецький національний технічний університет / Луцький національний технічний університет, к.ф.-м.н., доцент, olena.liubymenko@donntu.edu.ua
Маслова Наталія
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності / Донецький національний технічний університет, к.т.н, доцент, masgpp2@gmail.com,
Штепа Олександр
Донецький національний технічний університет, к.т.н., доцент, oleksandr.shtepa@donntu.edu.ua

INFORMATION SYSTEMS AS A BASIS FOR DATA-DRIVEN DECISION-MAKING IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Lyubymenko Olena
Donetsk National Technical University / Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, olena.liubymenko@donntu.edu.ua
Maslova Natalia
Lviv State University of Life Safety / Donetsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, masgpp2@gmail.com,
Shtepa Oleksandr
Donetsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, oleksandr.shtepa@donntu.edu.ua

The paper examines the role of information systems in supporting data-driven decision-making in the context of digital transformation. The main functions of information systems are analyzed, their role in management, production, education, logistics, and public administration is determined, and key requirements for their effective implementation are outlined. It is shown that information systems form an important technological basis for digital

transformation and enable organizations to move from intuitive decision-making to system management based on data, indicators, and predictive analytics.

Keywords: information systems, digital transformation, data management, cybersecurity.

Цифрова трансформація є одним із визначальних процесів сучасного організаційного розвитку. За визначенням OECD, цифрова трансформація пов'язана з впливом цифрових технологій і даних на наявні та нові види діяльності; вона охоплює всі сектори та створює як можливості, так і ризики для економіки й суспільства [1]. У цьому контексті інформаційні системи стають не лише технічними засобами для зберігання інформації, а й стратегічними інструментами управління процесами, ресурсами, послугами та організаційними рішеннями.

Актуальність теми зумовлена швидким зростанням обсягів цифрових даних, ускладненням організаційних процесів та необхідністю прийняття своєчасних, достовірних і аналітично обґрунтованих рішень.

Метою статті є аналіз ролі інформаційних систем у підтримці процесів прийняття рішень на основі даних та визначення основних вимог до їх ефективного використання в умовах цифрової трансформації.

Сучасні інформаційні системи виконують широкий спектр функцій. До базових функцій належать введення, зберігання, пошук, оброблення та виведення даних. Однак у контексті цифрової трансформації ці функції доповнюються аналітичним обробленням, візуалізацією, прогнозуванням, оцінюванням ризиків і підтримкою прийняття рішень.

Однією з найважливіших ознак сучасної інформаційної системи є інтеграція. Організації зазвичай використовують кілька джерел даних: внутрішні бази даних, хмарні сервіси, електронні документи, сенсори, системи планування ресурсів підприємства, системи управління взаємовідносинами з клієнтами, освітні платформи, логістичні сервіси та публічні цифрові реєстри. Якщо

ці джерела залишаються ізольованими, дані стають фрагментованими та складними для використання. Інтегрована інформаційна система створює єдине інформаційне середовище, у якому дані можна порівнювати, оновлювати, аналізувати та перетворювати на управлінські знання.

Ще однією важливою функцією є підтримка прийняття рішень. Системи підтримки прийняття рішень поєднують бази даних, аналітичні моделі, користувацькі інтерфейси та алгоритми порівняння альтернатив. Вони не замінюють людину, яка ухвалює рішення, а надають їй структуровану інформацію, прогнози та рекомендації. Такі системи особливо корисні тоді, коли рішення необхідно приймати в умовах невизначеності, за наявності багатьох критеріїв, обмеженого часу або великих обсягів вхідних даних.

Інформаційні системи також тісно пов’язані з управлінням даними. OECD наголошує, що дані слід розглядати як стратегічний актив, а організації мають працювати над усуненням бар’єрів для управління, поширення та повторного використання даних [2]. Це особливо важливо, оскільки навіть найсучасніші аналітичні алгоритми не можуть забезпечити надійні результати, якщо вхідні дані є неточними, неповними, застарілими або неузгодженими.

Аналіз показує, що інформаційні системи відіграють центральну роль у переході від традиційного управління до управління на основі даних. Їх упровадження дає змогу організаціям скорочувати час, необхідний для оброблення інформації, підвищувати точність рішень, збільшувати прозорість і посилювати контроль за процесами.

Ефективність інформаційних систем залежить від кількох ключових чинників: якості даних, інтероперабельності, кібербезпеки, зручності використання, надійності, готовності користувачів і відповідального застосування штучного інтелекту. Міжнародні стандарти й рамкові підходи, зокрема ISO/IEC 25010, NIST Cybersecurity Framework, NIST AI Risk Management Framework та ISO/IEC 42001, надають корисні орієнтири для проєктування, оцінювання й управління сучасними

інформаційними системами [3-5].

Тому успішне впровадження інформаційної системи потребує системного підходу. Необхідно визначити потреби організації, проаналізувати бізнес-процеси, сформулювати вимоги, забезпечити якість даних, обрати відповідні технології, передбачити кібербезпеку, навчити користувачів і оцінити ефективність системи після її впровадження.

Список використаних джерел

1. Digital transformation // OECD. URL: https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/digital-transformation.html (дата звернення: 10.05.2026).

2. Europe's Digital Decade // European Commission. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade (дата звернення: 10.05.2026).

3.Cybersecurity Framework // National Institute of Standards and Technology. URL: https://www.nist.gov/cyberframework (дата звернення: 10.05.2026).

4.AI Risk Management Framework // National Institute of Standards and Technology. URL: https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework (дата звернення: 10.05.2026).

5. ISO/IEC 42001:2023. Information technology — Artificial intelligence — Management system // International Organization for Standardization. URL: https://www.iso.org/standard/42001 (дата звернення: 10.05.2026).

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ

Матющенко Дмитро Максимович
Національний університет «Одеська політехніка», студент 4 курсу, 10328009@stud.op.edu.ua

INFORMATION SYSTEM FOR INTELLIGENT CONTROL AND FORECASTING OF LOCAL POWER GRID STATES

Matiushchenko Dmytro Maksymovych
Odesa Polytechnic National University, 4th-year student, 10328009@stud.op.edu.ua

Modern local energy networks face challenges from distributed renewable generation, variable loads, and the need for real-time control. This work proposes an information system that combines monitoring data with machine learning models to predict grid states and support intelligent control. The system processes telemetry, forecasts load and voltage variations, and recommends balancing actions, helping increase reliability, reduce losses, and improve energy efficiency.

Keywords: local power grid, intelligent control, state forecasting, machine learning, smart grid, energy efficiency

Сучасні локальні енергомережі стикаються з низкою нових викликів, спричинених активним впровадженням розподіленої генерації з відновлюваних джерел, нестабільністю споживання та зростаючими вимогами до якості й безперервності постачання електроенергії. Традиційні системи диспетчерського керування, орієнтовані переважно на централізовану топологію, не завжди здатні ефективно реагувати на швидкі зміни режимів роботи мережі. Саме тому виникає потреба у створенні інтелектуальних інформаційних систем, які поєднують засоби моніторингу,

прогнозування та підтримки прийняття рішень у єдиний замкнений контур керування.

Запропонована інформаційна система побудована за модульним принципом і складається з підсистем збору даних, попередньої обробки, прогнозування та формування керуючих впливів. Дані з вимірювальних пристроїв (струм, напруга, активна та реактивна потужність, частота) надходять до сервера у режимі реального часу, де проходять етапи валідації, фільтрації аномальних значень і синхронізації за часом. Очищені часові ряди використовуються як вхідні дані для моделей машинного навчання, що прогнозують навантаження та можливі режимні відхилення на найближчий горизонт планування [1].

Для задач короткострокового прогнозування стану локальної мережі застосовуються як класичні статистичні методи (ARIMA, експоненціальне згладжування), так і нейромережеві моделі, зокрема рекурентні мережі типу LSTM та архітектури на основі механізму уваги. Такий гібридний підхід дозволяє враховувати як стабільні сезонні складові, так і нелінійні залежності, що виникають за умов значної частки відновлюваної генерації [2]. Окрема увага приділяється оцінці невизначеності прогнозу, оскільки саме вона є підґрунтям для безпечного формування керуючих рішень в умовах неповної інформації.

На основі отриманих прогнозів система формує рекомендації щодо балансування мережі: перерозподілу навантаження, зміни режимів роботи накопичувачів енергії, активації керованих споживачів або від'єднання некритичних навантажень. Логіка прийняття рішень реалізована як набір правил у поєднанні з оптимізаційними алгоритмами, що мінімізують втрати, відхилення напруги та ризик аварійних режимів. Оператору надається інтерактивний інтерфейс із візуалізацією поточного й прогнозного стану мережі, переліком рекомендованих дій та можливістю їх схвалення або корекції [3].

Таким чином, поєднання сучасних методів машинного

навчання з класичними підходами до керування дає змогу побудувати інформаційну систему, яка підвищує надійність, керованість та енергоефективність локальних енергомереж. Її впровадження особливо актуальне для систем з високою часткою розподіленої генерації, мікромереж промислових підприємств та об'єктів критичної інфраструктури, де ціна помилки керування є особливо високою.

Список використаних джерел

1. Kundur P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill, 2022. 1176 p.

2. Hong T., Pinson P., Wang Y. Energy Forecasting: A Review and Outlook. IEEE Open Access Journal of Power and Energy. 2020. Vol. 7. P. 376-388.

3. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Денисюк С. П. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2021. 400 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ DIGITAL SIGNAGE З ВИКОРИСТАННЯМ СТЕКУ .NET, RABBITMQ ТА MONGODB

Михалевич Назар Дмитрович
Луцький національний технічний університет, магістрант кафедри інженерії програмного забезпечення,
merlinovaboroda17@gmail.com
Суринович Олена Миколаївна
Луцький національний технічний університет, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, к.т.н., доцент,
o.sivakovskaya@lutsk-ntu.com.ua

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A CENTRALIZED DIGITAL SIGNAGE CONTENT MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM USING THE .NET STACK, RABBITMQ AND MONGODB

Nazar Mykhalevych
Lutsk National Technical University, Master's student of the Software Engineering Department,
merlinovaboroda17@gmail.com
Olena Surynovych
Lutsk National Technical University, associate professor of the Software Engineering Department, PhD, associate professor,
o.sivakovskaya@lutsk-ntu.com.ua

The paper discusses the development of an information system for centralized content management of digital media networks (Digital Signage) based on the .NET stack, the RabbitMQ message broker, and the MongoDB document-oriented database. Architectural solutions are defined and the advantages of the selected technical stack are investigated.

Keywords: Digital Signage, centralized content management, .NET, RabbitMQ, MongoDB, message broker, distributed system.

Системи цифрових носіїв (Digital Signage) активно

застосовуються в ритейлі, транспортній інфраструктурі, освіті, медицині та публічних просторах для динамічного відображення мультимедійного контенту. Зростання масштабів мереж таких пристроїв зумовлює потребу в надійних і гнучких системах централізованого управління, здатних у реальному часі оновлювати розклади трансляцій, синхронізувати медіабібліотеки та моніторити стан обладнання. Більшість наявних комерційних рішень (Yodeck, ScreenCloud, NoviSign) є хмарними SaaS-платформами із закритим кодом, що ускладнює їхню адаптацію до специфічних організаційних вимог, обмежує контроль над даними та супроводжується значними витратами на ліцензування. Відкриті альтернативи (Xibo [1], Concerto) зазвичай мають обмежені можливості асинхронної доставки контенту і не пропонують повноцінної підтримки мікросервісних архітектур [2].

Мета роботи – дослідити архітектурні підходи до побудови систем управління Digital Signage та розробити власну інформаційну систему централізованого управління контентом із відкритою архітектурою на основі стеку .NET, RabbitMQ та MongoDB, яка забезпечуватиме масштабованість, надійну асинхронну доставку медіаданих і зручний інтерфейс адміністрування [3].

Платформа .NET (ASP.NET Core) обрана як основа серверної частини завдяки кросплатформності, високій продуктивності, розвиненій екосистемі бібліотек та підтримці контейнеризації. REST API і WebSocket-з'єднання забезпечують двосторонній зв'язок між сервером і клієнтськими пристроями відображення [4].

RabbitMQ як брокер повідомлень реалізує шаблон Publisher/Subscriber для надсилання команд оновлення контенту конкретним пристроям або їх групам [5]. Ключовими перевагами є гарантована доставка повідомлень (підтвердження ACK/NACK), підтримка черг із пріоритетами та можливість маршрутизації через exchange-вузли типів direct, fanout і topic. Це дозволяє розподіляти навантаження під час масового оновлення медіаконтенту і усунути жорстку синхронну залежність між

компонентами системи.

MongoDB використовується для зберігання метаданих медіаматеріалів, розкладів трансляцій, конфігурацій пристроїв і журналів подій [6]. Документоорієнтована модель даних забезпечує гнучкість схеми при зміні вимог, а горизонтальне масштабування через шардинг дозволяє обробляти великі обсяги даних у розгалужених мережах пристроїв.

Архітектура системи. Розроблювана система складається з чотирьох основних компонентів: (1) серверна частина (ASP.NET Core Web API) – управління користувачами, контентом і розкладами; (2) брокер повідомлень (RabbitMQ) – асинхронна доставка команд на пристрої; (3) сховище даних (MongoDB) – зберігання медіаметаданих, конфігурацій і журналів; (4) клієнтський агент – легкий застосунок на пристрої відображення, що підписується на чергу RabbitMQ, отримує команди та відтворює контент. Взаємодія між компонентами побудована на принципах подієво-орієнтованої архітектури, що забезпечує слабку зв’язаність і спрощує горизонтальне масштабування.

На поточному етапі реалізовано базову REST API для управління медіабібліотекою та розкладами трансляцій, налаштовано інтеграцію з RabbitMQ для асинхронного розсилання команд, розроблено схему колекцій MongoDB. Клієнтський агент знаходиться на стадії прототипування: реалізовано підключення до черги брокера та базову логіку відтворення контенту.

Завершена система надасть можливість централізовано управляти контентом на необмеженій кількості пристроїв цифрових носіїв у режимі реального часу, гнучко налаштовувати розклади трансляцій, здійснювати моніторинг стану пристроїв та журналювання подій. Порівняно з існуючими відкритими рішеннями, використання RabbitMQ забезпечить надійнішу доставку оновлень навіть за нестабільного мережевого з'єднання, а MongoDB – зменшить час розробки при зміні структури даних контенту.

Використання стеку .NET, RabbitMQ, MongoDB є обґрунтованим вибором для побудови масштабованої системи

централізованого управління контентом Digital Signage. Асинхронна архітектура на базі брокера повідомлень і документоорієнтована модель зберігання даних дозволяють ефективно вирішити завдання надійної доставки медіаматеріалів і гнучкого управління конфігурацією в умовах динамічного розширення мережі пристроїв.

Список використаних джерел

1. Bradshaw, S., Brazil, E., & Chodorow, K. (2019). MongoDB: The Definitive Guide (3rd ed.). O'Reilly Media. 511 p.

2. Richardson, C. (2018). Microservices Patterns: With Examples in Java. Manning Publications, 18(2), 520 p.

3. Fowler, M. (2018). Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison-Wesley Professional, 559 p. https://sar.ac.id/stmik_ebook/prog_file_file/EFCofwzsj0.pdf.

4. Microsoft. (2024). ASP.NET Core documentation. https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core.

5. Videla, A., & Williams, J. J. W. (2012). RabbitMQ in Action. Manning Publications, 214 p., https://classpages.cselabs.umn.edu/Spring-2018/csci8980/Papers/PublishSubscribe/RabbitMQinAction.pdf.

6. Xibo Open Source Digital Signage. (2024). GitHub. https://github.com/xibosignage/xibo-cms.

РОЗРОБКА ВЕБДОДАТКУ ДЛЯ ОНЛАЙН-ТОРГІВЛІ АВТОМОБІЛЯМИ З ІНТЕГРОВАНИМ МОДУЛЕМ СТРАХУВАННЯ

Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Данканич Михайло Михайлович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, dankanych.mykhailo@student.uzhnu.edu.ua

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR ONLINE CAR TRADING WITH AN INTEGRATED INSURANCE MODULE

Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Dankanych Mykhailo Mykhailovych
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, dankanych.mykhailo@student.uzhnu.edu.ua

This article describes the development of a web application for online car sales with an integrated insurance module. It examines the implementation of a microservices architecture and API interfaces to combine the purchasing and insurance processes into a single transaction session. It sets out the principles of information security and the prospects for implementing smart contracts to automate processes.

Keywords: web application, online trading, insurance module, microservices architecture.

Сучасний стан автомобільного ринку характеризується

радикальною зміною парадигми взаємодії між продавцем та покупцем. Традиційні методи дистрибуції, що базувалися на фізичній присутності клієнта в автосалоні, поступово поступаються місцем цифровим екосистемам [1]. Проте, попри високий рівень автоматизації процесів вибору та купівлі транспортного засобу, сфера супутніх фінансових послуг, зокрема страхування, тривалий час залишалася відокремленою. Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю подолання технологічного розриву між платформами електронної комерції та інструментами InsurTech. Створення єдиного інформаційного середовища, де процес купівлі авто та його миттєвого страхування об'єднані в одну транзакційну сесію, є критичним кроком для підвищення ефективності ринку та покращення користувацького досвіду.

Концептуальне обґрунтування розробки ґрунтується на застосуванні системного підходу до детермінації етапів життєвого циклу купівлі автомобіля. У класичній моделі покупець стикається з високим когнітивним навантаженням через необхідність взаємодії з декількома незалежними інформаційними системами: каталогом авто, банківським еквайрингом та сервісами страхових компаній. Інтеграція модуля страхування безпосередньо в структуру вебдодатку дозволяє автоматизувати передачу характеристик обраного автомобіля як вхідних даних (VIN-код, рік випуску чи об'єм двигуна) для розрахунку поліса. Це забезпечує безперервну взаємодію в межах однієї платформи [2, 3].

Пропоноване архітектурне рішення базується на мікросервісній парадигмі, що забезпечує функціональну ізоляцію торговельного та страхового сегментів. Взаємодія компонентів реалізується через стандартизовані API-інтерфейси, що дозволяє ефективно поєднувати обробку об'ємних масивів даних каталогу з високонавантаженими обчислювальними операціями на основі актуальних актуарних моделей. Такий підхід гарантує масштабованість системи та високу продуктивність при реалізації складних фінансових алгоритмів.

Математична модель визначення страхової премії P у

реальному часі базується на алгоритмі динамічної адаптації базового тарифу T_B відповідно до вектора параметрів ризику, що корелюють із технічними характеристиками транспортного засобу. Механізм розрахунку описується через функціональну залежність вигляду:

$$P = T_B \cdot \prod_{i=1}^{n} k_i,$$

де k_i репрезентує множину диференційованих коефіцієнтів (експлуатаційного зносу, потужності двигуна, інтенсивності використання тощо), які відображають вагові частки окремих чинників ризику.

Особливу увагу в роботі приділено проєктуванню взаємодії акторів системи (рис. 1). Покупець, як основний суб'єкт, отримує доступ до розширеного функціоналу, що включає не лише пошук та резервування авто, а й можливість ініціювати страховий випадок або переглядати статус активного поліса безпосередньо в особистому кабінеті. Продавець, своєю чергою, отримує інструментарій для моніторингу конверсії та управління складськими залишками, що інтегровані з аналітичними модулями. Страхова компанія виступає в ролі активного постачальника послуг, чиї внутрішні алгоритми валідації заявок працюють у фоновому режимі, забезпечуючи миттєве підтвердження або відхилення запитів на страхування. Адміністрування такої платформи передбачає контроль за консистентністю даних та налаштуванням шлюзів оплати, що гарантує фінансову безпеку всіх операцій.

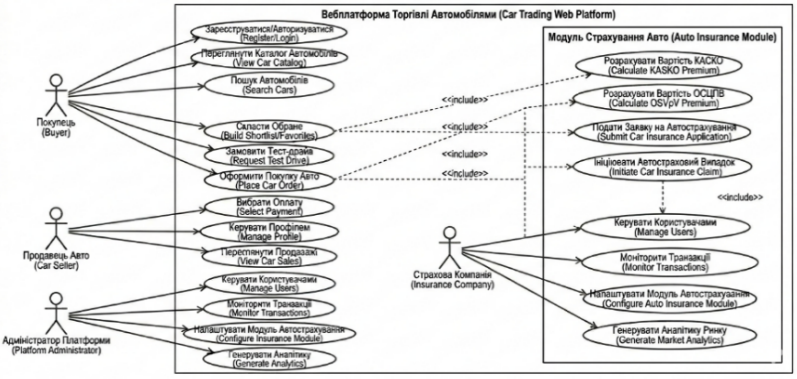


Рисунок 1. Діаграма прецедентів

Інформаційна безпека вебзастосунку базується на дворівневій моделі: захисті персональних даних (шифрування, токенізація) та верифікації фінансових протоколів. Перспективним напрямом є імплементація смартконтрактів для автоматизації виконання страхових зобов'язань. Такий підхід мінімізує операційні витрати та підвищує рівень довіри до платформи, забезпечуючи надійність транзакційних процесів у межах єдиного цифрового середовища.

Перспективи подальшого розвитку полягають у впровадженні інструментарію штучного інтелекту для автоматизованого візуального аналізу технічного стану транспортних засобів на основі фотографічних даних. Це дозволить автоматично оцінювати ступінь зносу або наявність пошкоджень, що безпосередньо впливатиме на вартість страхування.

Інтеграція страхового модуля у вебдодаток є стратегічним рішенням для модернізації ринку. Спроєктована архітектура забезпечує масштабованість і безпеку, слугуючи моделлю для суміжних галузей. Успішна реалізація системи підтверджує пріоритетність глибоко інтегрованих сервісів в електронній комерції, що забезпечують комплексне задоволення потреб користувача в межах єдиного інтерфейсу.

Список використаних джерел

1. Mahi, S. H., Maliha, U. H., & Sakib, S. J. (2020). Development of web and mobile application based online buy, sell and rent car system. 2020 Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications, 143–147.

2. Bhattacharya, S., Castignani, G., Masello, L., et al. (2025). AI revolution in insurance: Bridging research and reality. Frontiers in Artificial Intelligence, 8, Article 1568266. https://doi.org/10.3389/frai.2025.1568266.

3. Chen, X. (2024). Transforming auto insurance: The impact of telematics and real-time data on pricing and risk assessment. Regent Journal of Business and Technology, 1(1), 36–43. https://doi.org/10.5923/j.rjbt.20240101.03.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТУРИСТИЧНИХ МІСЦЬ УЖГОРОДА

Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Сігетій Остап Олександрович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, sihetii.ostap@student.uzhnu.edu.ua

INFORMATION SYSTEM FOR VISUALIZATION OF TOURIST ATTRACTIONS IN UZHHOROD

Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Sigetiy Ostap Oleksandrovych
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, sihetii.ostap@student.uzhnu.edu.ua

An information system for visualization of tourist attractions in the city of Uzhhorod using web mapping technologies has been developed. The system was implemented using Google My Maps with support for thematic layers, interactive markers, information windows, and route construction. The conducted testing confirmed the efficiency, usability, and practical value of the developed system for tourism infrastructure development in Uzhhorod and territorial communities of Zakarpattia region.

Keywords: information system, web mapping, tourist attractions, Google My Maps, routing, visualization.

Сучасний розвиток цифрових технологій та веб-картографічних сервісів суттєво впливає на сферу туризму та

способи взаємодії користувачів із туристичною інформацією. Використання геоінформаційних систем і веб-картографії забезпечує можливість інтерактивної візуалізації туристичних об'єктів, побудови маршрутів та підтримки навігації у міському середовищі [1]. У сучасних умовах користувачі дедалі частіше використовують мобільні пристрої та веб-сервіси для планування подорожей і пошуку туристичних локацій у режимі реального часу. Швидкий розвиток цифрових платформ формує потребу у створенні доступних інформаційних систем, здатних забезпечувати централізоване представлення туристичних ресурсів та підтримку взаємодії користувача з геопросторовими даними.

Закарпатська область є одним із найбільш туристично привабливих регіонів України завдяки поєднанню історико-культурної спадщини, природних ресурсів, архітектурних пам'яток та багатонаціональної культурної традиції. Водночас значна частина туристичної інформації про громади Закарпаття залишається фрагментованою, недостатньо структурованою або представлена лише у вигляді окремих вебресурсів і соціальних мереж. Це ускладнює доступ туристів до актуальної інформації, навігацію між туристичними локаціями та формування комплексних туристичних маршрутів.

Особливо актуальною є проблема цифрового представлення туристичних об'єктів для територіальних громад, які часто не мають власних сучасних інформаційних систем або інтерактивних картографічних сервісів. Створення єдиної веб-орієнтованої системи візуалізації туристичних об'єктів дозволяє не лише підвищити доступність туристичної інформації, але й сприяє популяризації локального туризму, розвитку туристичної інфраструктури та цифровізації громад. У цьому контексті місто Ужгород є доцільним прикладом для реалізації подібної системи, оскільки місто має значну кількість туристичних об'єктів, сформовані туристичні маршрути та потребує сучасних цифрових інструментів навігації й візуалізації.

Дослідження охоплює етапи розробки інформаційної системи візуалізації туристичних місць міста Ужгород із

використанням веб-картографічних технологій. У межах роботи проведено аналіз сучасних картографічних платформ, зокрема Google My Maps, Google Maps Platform, Leaflet, Mapbox та OpenStreetMap. Аналіз здійснювався за критеріями функціональності, складності реалізації, швидкості розробки, підтримки API та можливостей кастомізації. За результатами аналізу для реалізації інформаційної системи було обрано платформу Google My Maps, оскільки вона забезпечує підтримку геопросторових даних, тематичних шарів та побудови маршрутів без необхідності створення складної серверної архітектури [2].

Архітектура системи побудована за принципом послідовної обробки даних, що включає збір інформації, структуризацію, імпорт даних, візуалізацію та взаємодію користувача із системою. Для реалізації системи сформовано структуровані набори даних туристичних об'єктів міста Ужгород. До структури даних включено назву об'єкта, категорію, опис, адресу, географічні координати та джерело інформації. У межах системи реалізовано тематичні шари «Мініскульптури Ужгорода», «Історичні пам'ятки Ужгорода», «Органи управління» та «Маршрути». Використання шарової структури забезпечує логічне групування інформації та підвищує зручність взаємодії користувача із картою.

Практична цінність системи полягає у можливості її використання не лише для міста Ужгород, але й для інших територіальних громад Закарпатської області. Структура системи дозволяє масштабувати її шляхом додавання нових туристичних локацій, маршрутів, історичних пам'яток та об'єктів туристичної інфраструктури. Це створює передумови для формування єдиного цифрового туристичного середовища регіону та покращення інформаційної доступності туристичних ресурсів Закарпаття.

Одним із ключових функціональних компонентів системи є механізм маршрутизації. У межах роботи реалізовано туристичні маршрути «Історичний центр Ужгорода» та «Мініскульптури набережних Ужа». Побудова маршрутів виконується автоматично засобами Google My Maps на основі геопросторових координат об'єктів. Для кожного туристичного об'єкта реалізовано

інтерактивне інформаційне вікно з описом, фотографією та координатами, що забезпечує зручність використання системи та підвищує інформативність карти.

Розроблена інформаційна система демонструє значну практичну цінність для сфери туристичної інфраструктури міста Ужгород та територіальних громад Закарпатської області, оскільки забезпечує централізовану візуалізацію туристичних об'єктів, підтримку навігації та інтерактивну взаємодію користувача із геопросторовими даними. Система поєднує функції збору, структурування та візуалізації інформації про туристичні локації регіону, що сприяє підвищенню доступності туристичних ресурсів та розвитку цифрового туризму.

Використання сервісу Google My Maps дозволило реалізувати доступну веб-орієнтовану платформу без необхідності створення складної серверної інфраструктури. Проведене тестування підтвердило ефективність, стабільність та зручність використання системи, а також можливість її практичного застосування для популяризації туристичних маршрутів, історико-культурної спадщини та туристичного потенціалу Закарпаття.

Отже, інформаційна система може бути використана як основа для подальшого створення регіональних туристичних вебплатформ, інтеграції туристичних сервісів територіальних громад та формування єдиного цифрового туристичного простору області.

Список використаних джерел

1. Chang K. T. Introduction to Geographic Information Systems. New York: McGraw-Hill Education. 2016. 460 p.

2. Google My Maps Help. URL: https://support.google.com/mymaps.

DEVOPS-ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗГОРТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МЕРЕЖЕВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ VIRTUALBOX ТА PYTHON

Павленко Максим Петрович
Бердянський державний педагогічний університет, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформатики, Pavlenko.2277@gmail.com
Молчанов Віктор Вікторович
Бердянський державний педагогічний університет, студент факультету фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти, vvmolchanov89@gmail.com

A DEVOPS APPROACH TO AUTOMATED DEPLOYMENT OF VIRTUAL NETWORK LABS USING VIRTUALBOX AND PYTHON

Maksym Pavlenko
berdyansk state pedagogical university, candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of computer technologies and informatics, pavlenko.2277@gmail.com
Molchanov Viktor
Berdyansk State Pedagogical University, student in the Department of Physics, Mathematics, Computer Science, and Technology Education, vvmolchanov89@gmail.com

This paper presents a conceptual model of an automated system for deploying virtual network laboratories using VirtualBox and Python. The approach applies DevOps practices and infrastructure as code to ensure scalability, reproducibility, and efficient management of educational environments.

Keywords: virtual laboratories, DevOps, VirtualBox, Python, automation

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується стрімким зростанням складності мережевих інфраструктур, що зумовлює потребу у якісній підготовці

фахівців з мережевого та системного адміністрування. Водночас традиційні підходи до організації лабораторних робіт часто є ресурсоємними, складними в адмініструванні та недостатньо гнучкими для масштабування. Використання віртуалізації та DevOps-підходів відкриває нові можливості для створення автоматизованих навчальних середовищ [1]. Проте проблема розробки універсальної модульної інформаційної системи для автоматизованого розгортання таких лабораторій, зокрема на базі VirtualBox із використанням Python, залишається недостатньо дослідженою. Це обумовлює актуальність проведення даної наукової розвідки.

Аналіз сучасних наукових джерел свідчить про активний розвиток напрямів, пов'язаних із автоматизацією, хмарними технологіями, DevOps та інтелектуальними інформаційними системами. У роботі [2] розглядаються підходи до побудови інформаційних систем із високим рівнем адаптивності, що підкреслює важливість модульності та масштабованості. Дослідження [3] акцентують увагу на інтеграції DevOps-практик у процеси розгортання програмних середовищ, доводячи ефективність автоматизації життєвого циклу систем.

Метою дослідження є обґрунтування актуальності та визначення концептуальних засад розробки універсальної модульної інформаційної системи для автоматизованого розгортання віртуальних лабораторій мережевого та системного адміністрування на базі VirtualBox із використанням DevOps-практик і мови програмування Python.

Проблема створення віртуальних лабораторій полягає у необхідності швидкого, повторюваного та масштабованого розгортання складних мережевих конфігурацій. Традиційні підходи передбачають ручне налаштування віртуальних машин, що є неефективним і схильним до помилок. Використання VirtualBox як платформи віртуалізації є доцільним через його відкритість, доступність і підтримку автоматизації через API.

Інтеграція DevOps-практик дозволяє реалізувати принципи безперервної інтеграції та доставки, що є ключовими для автоматизованого розгортання середовищ. Python виступає як

універсальний інструмент для оркестрації процесів, взаємодії з VirtualBox API та реалізації логіки системи.

Архітектурно система має бути побудована за модульним принципом, що передбачає наявність окремих компонентів для управління конфігураціями, розгортання віртуальних машин, моніторингу стану та взаємодії з користувачем. Такий підхід забезпечує гнучкість, розширюваність і можливість адаптації до різних сценаріїв використання.

Особливу увагу слід приділити механізмам опису лабораторій у вигляді декларативних конфігурацій, що дозволяє забезпечити відтворюваність середовищ. Використання підходів інфраструктури як коду дозволяє формалізувати процес створення лабораторій і інтегрувати його у DevOps-пайплайни (рис. 1).

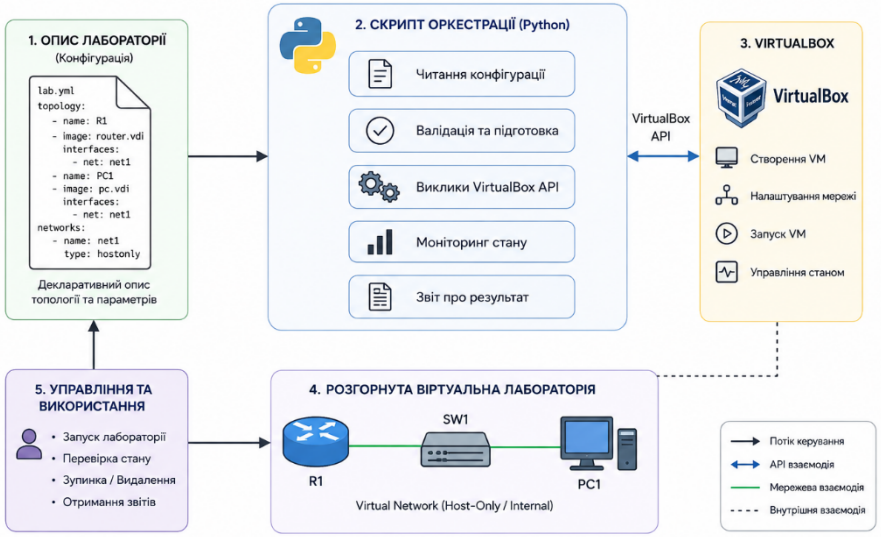


Рисунок 1. Концептуальна модель розгортання віртуальної мережевої лабораторії

Отримані результати узгоджуються з сучасними тенденціями розвитку інформаційних систем, що підтверджується аналізом наукових джерел. Зокрема, ідеї модульності та автоматизації, представлені у [2] та [3], знаходять своє відображення у запропонованому підході.

Водночас, на відміну від існуючих досліджень, дана робота акцентує увагу на інтеграції освітніх потреб із сучасними технологічними підходами, що створює новий напрям досліджень.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Таким чином, проведене дослідження підтверджує актуальність розробки універсальної модульної інформаційної системи для автоматизованого розгортання віртуальних лабораторій. Визначено основні підходи до її побудови, що базуються на використанні VirtualBox, Python та DevOps-практик.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку прототипу системи, експериментальну оцінку її ефективності, а також дослідження можливостей інтеграції з хмарними платформами та системами керування навчальним процесом. Окрему увагу доцільно приділити застосуванню інтелектуальних методів для оптимізації процесів розгортання та управління віртуальними лабораторіями.

Список використаних джерел

1. Pavlenko L., Pavlenko M., Pavlenko Y. Research on the necessity of implementing devops technologies in the training of future computer science teachers. *Educological discourse*. 2023. Vol. 41, no. 2. URL: https://doi.org/10.28925/2312-5829.2023.214 (date of access: 06.05.2026).

2. Byzov I., Yakovlev S. Information technology for automation of server infrastructure management using DevOps tools. *Radioelectronic and computer systems*. 2025. Vol. 2025, no. 3. P. 257–269. URL: https://doi.org/10.32620/reks.2025.3.18 (date of access: 06.05.2026).

3. Fully automated testbed of cisco virtual routers in cloud based environments / A.-F. Sicoe et al. *2022 IEEE international black sea conference on communications and networking (blackseacom)*, Sofia, Bulgaria, 6–9 June 2022. 2022. URL: https://doi.org/10.1109/blackseacom54372.2022.9858288 (date of access: 06.05.2026).

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Пасічник Володимир Володимирович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», д.т.н, професор, професор кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, volodymyr.pasichnyk@uzhnu.edu.ua
Морохович Василь Степанович
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Веремеєнко Раїса Володимирівна
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», бакалавр кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, veremeienko.raisa@student.uzhnu.edu.ua

METHODS FOR ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF HOUSEHOLD APPLIANCE ENERGY CONSUMPTION USING INFORMATION MONITORING SYSTEMS

Pasichnyk Volodymyr Volodymyrovych
Uzhhorod National University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, volodymyr.pasichnyk@uzhnu.edu.ua
Morokhovych Vasyl Stepanovych
Uzhhorod National University, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua
Veremeenko Raisa Volodymyrivna
Uzhhorod National University, Bachelor of the Department of Information Science, Physical and Mathematical Disciplines, veremeienko.raisa@student.uzhnu.edu.ua

The paper presents a systematic comparative analysis of

household appliance energy consumption analysis methods applicable in information monitoring systems with discrete data entry. A combined approach is substantiated as the most appropriate strategy for energy monitoring information systems with manual data input, ensuring system functionality from the first user record while progressively enhancing analytical depth as data accumulates. The practical implementation of the proposed approach is carried out within an information monitoring system for household appliance energy consumption.

Keywords: energy monitoring, household appliances, information systems, decision support, optimization methods.

Зростання тарифів на електроенергію та посилення вимог до енергоефективності в умовах воєнного стану і повоєнного відновлення України актуалізують потребу в інструментах контролю та зниження енергоспоживання на рівні домогосподарств [1]. Побутові прилади формують значну частку загального споживання електроенергії у житловому секторі. Водночас більшість користувачів не має чіткого розуміння про реальний внесок кожного приладу у загальні витрати. Інформаційні системи моніторингу енергоспоживання (Energy Monitoring Information Systems – EMIS) є корисним інструментом, бо дозволяють систематизувати, аналізувати та візуалізувати дані про споживання.

Проблематика моніторингу та управління енергоспоживанням у житловому секторі є предметом активних досліджень у контексті концепції розумного будинку (Smart Home) та Інтернету речей (IoT). Значна частина сучасних досліджень зосереджена на системах із автоматизованим збором даних через інтелектуальні лічильники та сенсорні мережі, що забезпечують моніторинг у режимі реального часу.

Разом із тим дослідники вказують, що системи з ручним або напівавтоматичним введенням даних зберігають практичну цінність для сегменту домогосподарств із обмеженими ресурсами, де впровадження повністю автоматизованої інфраструктури є нерентабельним [2]. Такі системи спираються

на методи статистичного аналізу накопичених дискретних даних, що потребує окремого методологічного підходу порівняно із системами потокової обробки. Серед методів аналізу енергоспоживання виокремлюють наступні: нормативний, статистичний, порівняльного бенчмаркінгу та структурного аналізу [3]. Вибір конкретного методу або їх комбінації визначається архітектурою системи, доступністю вхідних даних та цільовим призначенням аналітичного модуля.

Нормативний метод ґрунтується на зіставленні фактичних показників із паспортними характеристиками приладів за допомогою індексу:

$$I = \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{норм}}},$$

де $E_{\text{факт}}$ – фактичне споживання електроенергії за розрахунковий період, $E_{\text{норм}}$ – нормативне споживання згідно з паспортними даними обладнання. Попри автономність, він не враховує технічний знос обладнання. Статистичний аналіз часових рядів дозволяє ідентифікувати тренди та аномальні відхилення, що є критично важливим для систем із дискретним введенням даних. Своєю чергою, структурний метод забезпечує декомпозицію енергобалансу для визначення питомої ваги кожного об’єкта, сприяючи виявленню пріоритетних зон оптимізації. Додатково застосовується порівняльний бенчмаркінг, який передбачає зіставлення індивідуальних витрат із референтними галузевими показниками.

За результатами дослідження встановлено, що для EMIS із ручним введенням даних оптимальним є комбінований підхід, який поєднує нормативний та статистичний методи на початковому етапі накопичення даних із поступовим включенням структурного аналізу в міру формування достатньої вибірки. Такий підхід забезпечує функціональність системи з першого запису даних користувачем, одночасно підвищуючи аналітичну глибину в міру накопичення інформації.

Оптимізаційний модуль системи формує рекомендації на основі виявлених відхилень від нормативних показників та структурного аналізу споживання, пропонуючи користувачу

конкретні дії: заміну застарілого обладнання, коригування режиму використання або перерозподіл навантаження в часі для уникнення пікового споживання [4].

Таким чином, ефективність функціонування EMIS детермінується відповідністю обраних методів аналізу їх архітектурним особливостям. Для систем із дискретним введенням даних нормативний і статистичний підходи є базовими завдяки низьким вимогам до обсягу вибірки. Пролонгована аналітична цінність досягається через залучення структурного аналізу та бенчмаркінгу. Імплементація комбінованого підходу у формі оптимізаційного модуля з функцією підтримки прийняття рішень трансформує систему з пасивного інструменту обліку на активний засіб стратегічного управління енергоефективністю домогосподарства.

Список використаних джерел

1. Onay, A., Ertürk, G., Kıranlı, C., Ateş, H., & Isikdemir, Y. E. (2023). A smart home energy monitoring system based on Internet of Things and Inter Planetary File System for secure data sharing. *Journal of Computer and Communications*, 11(10), 64–81. https://doi.org/10.4236/jcc.2023.1110005.

2. Ibrahim, D. M., Almhafdy, A., Al-Shargabi, A. A., Alghieth, M., Elragi, A., & Chiclana, F. (2022). The use of statistical and machine learning tools to accurately quantify the energy performance of residential buildings. *PeerJ Computer Science*, 8, e856. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.856.

3. Caldera, M., Hussain, A., Romano, S., & Re, V. (2023). Energy-Consumption Pattern-Detecting Technique for Household Appliances for Smart Home Platform. *Energies*, 16(2), 824. https://doi.org/10.3390/en16020824.

4. Riabchuk, V., Hagel, L., Germaine, F., & Zharova, A. (2024). Utility-based context-aware multi-agent recommendation system for energy efficiency in residential buildings. *Information Fusion*, 112, 102559. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102559.

ГОЛОВНІ НАПРЯМКИ ІНТЕГРАЦІЇ ГІС ТА ОХОРОННИХ СИСТЕМ

Пугач Сергій Олександрович
Волинський національний університет імені Лесі Українки, д. геогр. н, професор кафедри економічної та соціальної географії, puhachserhiy@gmail.com
Сушик Вадим Володимирович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти
Федорук Любомир Миколайович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти

MAIN AREAS OF INTEGRATION BETWEEN GIS AND SECURITY SYSTEMS

Serhii Puhach
Lesya Ukrainka Volyn National University, Doctor of Geography, Professor of the Department of Economic and Social Geography, puhachserhiy@gmail.com
Vadym Sushyk
Lutsk National Technical University, student
Lyubomyr Fedoruk
Lutsk National Technical University, student

The paper analyses approaches to integration of GIS and security systems. This is a promising direction that ensures increased efficiency of monitoring, analysis and response to potential threats. Progress in this field is linked to the implementation of AI technologies, process automation and the assurance of an adequate level of cybersecurity, which opens up significant opportunities for improving the security of territories and facilities.

Keywords: geographic information system (GIS), security systems, physical security information management (PSIM).

Програмне забезпечення для охоронних систем традиційно створювалося на основі моніторингу за допомогою систем відеоспостереження (CCTV) та пов'язаних з ними додатків, які інтегрують дані камер спостереження для виявлення потенційних

загроз. Використання геоіформаційних систем (ГІС) та технологій дозволяє значно покращити не лише моніторинг, але й планування та прогнозування потенційних загроз, як фізичних, так і кіберзагроз.

Галузь управління інформацією про фізичну безпеку (Physical security information management, PSIM) зазнала значного розвитку за останні десятиліття, що зумовлено зростаючим суспільним запитом. Багато компаній створили платформи, які працюють над інтеграцією різних джерел даних, включаючи відеоспостереження, дані радарів, сенсорів, дані з польових об'єктів з прив'язкою GPS. Платформа Everbridge є одним із прикладів того, як галузь PSIM адаптувалася до інтеграції кількох потоків даних Програмне забезпечення Everbridge допомагає виявляти потенційні загрози (наприклад, проникнення в охоронну зону) за допомогою аналітики, яка враховує рух та потенційні наміри натовпу [1].

Одним із пріоритетних напрямків взаємодії ГІС та охоронних систем є короткострокове прогнозування виникнення інцидентів. Це можна зробити за допомогою додатків, які інтегрують потенційні дані про переміщення користувачів, наприклад, з точок виходів-входів, шляхів та маршрутів, що потім дозволяє надавати персоналізовану інформацію для можливості евакуації з будівель або зон у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

У проекті CE4Blind [2] було створено ГІС, яка дозволяла користувачам надавати свої дані через свої смартфони, які потім інтегрувалися в ієрархічну систему разом з іншими типами даних. Пізніше ця інформація використовувалася для безпеки переміщення осіб з обмеженими можливостями, надаючи їм потрібну інформацію про ризики та небезпеки.

Незважаючи на підвищення безпеки на охоронних об'єктах за допомогою ГІС-технологій, ряд дослідників вказують на значно ширші можливості такої взаємодії. Мова йде про підвищення безпеки на порівняно великих територіях, таких як райони міста. Наприклад, у Манчестері метою одного з проєктів було покращення пішохідної доступності певних територій [4].

Проте результати показали, що у деяких локаціях, де мешканців заохочували більше ходити пішки, також зріс рівень злочинності. Використовуючи підхід GIS for Participation, який інтегрує різні думки та сприйняття людей, було розроблено кращі пішохідні маршрути, що враховують здоров'я та безпеку громади. Метою проєкту також було сприяння економічному зростанню, шляхом підвищення привабливості району для пішоходів та зниження рівня небезпеки на вулиці [4].

Перспективним напрямком досліджень є також питання міської безпеки (urban security) у великих містах. Інтеграція різних даних з охоронних систем з іншою інформацією, такою як дані про дорожній рух, житлові райони, будівлі, призвела до створення таких платформ, як XEarth, яка надає технологію 3D-візуалізації шаблонів даних у режимі реального часу для допомоги в сферах безпеки та іншого планування. Такі інструменти зосереджені на взаємодії людини з просторовими даними через комп'ютер, що надає користувачеві інформацію та аналітичні можливості для допомоги у прийнятті рішень [3].

Іншою важливою сферою взамодії ГІС та охоронних систем є кібербезпека. Атаки на критичну інфраструктуру, наприклад системи електропостачання, сьогодні становлять велику загрозу. Все це можна вирішити за допомогою ГІС-технологій. Виробники та постачальники електроенергії часто покладаються на прогнозні дані щодо попиту. В результаті кібератак формуються недостовірні дані щодо попиту енергії, що призводить до порушення енергетичного балансу та перебоїв у постачанні. Програмне забезпечення на основі ГІС здійснює моніторинг розподілу енергії й виявляє аномалії.

Отже, інтеграція ГІС та охоронних систем є перспективним напрямом, що забезпечує підвищення ефективності моніторингу, аналізу та реагування на потенційні загрози. Поєднання просторових даних із системами відеоспостереження, сигналізації та контролю доступу дозволяє здійснювати оперативне управління безпекою, прогнозувати ризики та оптимізувати розміщення ресурсів. Водночас така інтеграція сприяє створенню єдиного інформаційного середовища, що

підвищує координацію між різними службами та покращує якість прийняття управлінських рішень. Подальший розвиток цього напряму пов'язаний із впровадженням розумних технологій, автоматизації процесів і забезпеченням належного рівня кібербезпеки, що загалом відкриває широкі можливості для підвищення рівня безпеки територій і об'єктів.

Список використаних джерел

1. Everbridge. Site. URL: https://www.everbridge.com/

2. Fernandes H., Teixeira R., Daniel B., Alves C., Reis A., Paredes H., Barroso J. Design of Geographic Information Systems to Promote Accessibility and Universal Access. *Universal Access in Human–Computer Interaction. Human and Technological Environments*. Eds. M. Antona, C. Stephanidis. 2017. Vol. 10279. pp. 291–299. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58700-4_24

3. Li X., Lv Z., Hu J., Zhang B., Shi L., Feng S. XEarth: A 3D GIS platform for managing massive city information. *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*. Shenzhen, China, 2015. pp. 1-6. DOI: 10.1109/CIVEMSA.2015.7158625

4. Schofield P., Doran A., Nolan R. Assessing the walkability of urban public space with GIS technology: The hidden dimensions of security and community heritage. *The Routledge international handbook of walking*. Abingdon, Oxford, Routledge, 2017. pp. 369-378.

ДО ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРА ПОЛІГОНА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Садовий Микола Олександрович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти
Дердюк Юрій Сергійович
Луцький національний технічний університет, здобувач освіти
Кайдик Олег Леонтійович
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент, кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем, o.kaidyk@lntu.edu.ua

ON FORMING THE PERIMETER SECURITY SYSTEM CONCEPT FOR RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES

Mykola Sadovyi
Lutsk National Technical University, student
Yurii Derdiyk
Lutsk National Technical University, student
Oleh Kaidyk
Lutsk National Technical University, PhD of Tech. Sc., Assoc. Prof., Department of Computer Engineering and Security Systems, o.kaidyk@lntu.edu.ua

The paper proposes a multi-layered security concept for radioactive waste sites, utilizing territorial zoning, radar, seismic sensing, and automated radiation monitoring. It defines strategies to mitigate human error and prevent sabotage, ensuring no unauthorized access to hazardous materials or potential accidents.

Keywords: concept, perimeter security, radioactive waste, physical protection, physical barrier, defence-in-depth.

Формування концепції фізичного захисту полігонів (сховищ) радіоактивних відходів (РАВ) є завданням особливої державної важливості [1], оскільки такі об'єкти становлять потенційну загрозу не лише національній, а й екологічній безпеці [2]. Специфіка таких полігонів вимагає відходу від

стандартних рішень охорони на користь створення інтелектуальних ешелонованих систем, які допоможуть протидіяти як класичним порушникам, так і загрозам терористичного або диверсійного характеру. Основною метою побудови такої системи залишається повне виключення несанкціонованого доступу до матеріалів, які можна використати для створення «брудної бомби» або спричинити радіаційне забруднення.

В основу запропонованої концепції покладено систему, яка дозволяє інтегрувати фізичні бар'єри, технічні засоби виявлення та цифрові інструменти аналітики в єдиний контур керування.

Перший етап її формування включає у себе зонування території. Для полігонів РАВ актуальним є виділення таких зон як: обмеження, захисту та безпосереднього зберігання відходів. Варто зауважити, що периметр кожної із них повинен мати власну систему виявлення, яка й забезпечить принцип глибокоешелонованого захисту (якщо порушник долає перший рубіж, система має достатньо часу для його нейтралізацію на наступних етапах).

Особливістю полігонів (сховищ) РАВ є необхідність у постійному проведенні моніторингу впливу іонізуючого випромінювання на електронні компоненти систем безпеки [3]. Запропонована концепція передбачає використання лише радіаційно стійких технічних засобів охорони периметра, які можуть працювати у тісному зв'язку із системами автоматизованого радіаційного моніторингу. Тобто, будь-яке несанкціоноване переміщення РАВ через периметр супроводжується негайною активацією давачів радіаційного контролю.

Перший рубіж охорони на підступах до полігону (сховища) РАВ повинен базуватись на засобах раннього попередження. Зазвичай, використання радіолокаційних станцій малого радіусу дії та тепловізорів із середньою дальністю виявлення дозволяють викривати людей або автомобілі на відстані до одного кілометра. Це є критично важливим для полігонів, які розташовано у віддаленій місцевості, де час на прибуття групи швидкого

реагування може бути довшим, у порівнянні із міськими умовами. Як бачимо, на цьому етапі система аналізує наміри зловмисників, відкидаючи випадкових перехожих або тварин, та підготовлює сили швидкого реагування до можливого контакту.

Основний периметральний рубіж повинен бути комбінованим та розташовується, як правило, на лінії загородження. При цьому, фізична перешкода (зварний або бетонний паркан) обов'язково підсилюється армованою колючою стрічкою (колючим дротом) та інтегрованими вібраційними давачами. Зауважимо, що для полігонів РАВ рекомендованим є використання тих трибоелектричних кабелів, які володіють високою чутливістю до перерізання чи спроб подолання огорожі. У якості дублюючого чинника виявлення використовують радіохвильові сповіщувачі, які здатні сформувати невидиму об'ємну зону захисту вздовж лінії загородження, та підземні сейсмічні сенсори, які унеможливлюють підкоп до сховища.

Щодо візуальної верифікація подій, які відбуваються на полігоні РАВ, то тут покладаються лише на інтелектуальне відеоспостереження (CCTV). Сучасна концепція відмовляється від простого запису відео на користь нейромережевого аналізу потоку в реальному часі. Тобто, CCTV має бути оснащено функціями розпізнавання обличь та автомобільних номерів, а також алгоритмами детектування залишених предметів або підозрілої поведінки персоналу. Важливим аспектом є й те, що автоматизована система повинна сама наводити поворотну камеру на те місце де відбувся інцидент (спрацював той чи інший периметральний давач), надаючи, тим самим, для оператора повну візуалізацію місця без необхідності ручного пошуку.

Невід'ємною складовою формування концепції побудови системи охорони периметра полігона РАВ є інформаційна безпека та стійкість такої системи до кібератак. Оскільки полігони радіоактивних відходів це об'єкти критичної інфраструктури, то до мережі системи охорони висувається умова «Air Gap» (фізична ізольованість відносно мережі Internet). При цьому, усі канали зв'язку між периметральними давачами та центром керування повинні бути зашифрованими та захищеними від спроб підміни

сигналу. У випадку навмисного пошкодження кабельної інфраструктури система повинна автоматично переходити на резервні бездротові канали зв'язку або використовувати топологію «кільце» для збереження своєї працездатності.

Організаційна складова концепції побудови системи охорони периметра полігона РАВ фокусується на мінімізації людського чинника. При цьому, усі тривожні події обробляються за строгими протоколами, а штучний інтелект допомагає оператору прийняти правильне рішення, виводячи на екран покрокову інструкцію залежно від типу загрози. Запропонована авторами концепція дозволяє включити створення зони відчуження вздовж периметра, що спрощує роботу відеоаналітики та унеможливлює непомітне наближення зловмисників до огорожі.

Як бачимо, формування концепції системи охорони периметра полігона радіоактивних відходів є безперервним та динамічним процесом, який потребує регулярної адаптації до нових викликів. Запропонований підхід базується на створенні інтелектуальної ешелонованої системи на базі передових, радіаційно стійких, технічних засобів виявлення, що гарантує швидку реакцію на будь-яке несанкціоноване переміщення. При цьому, застосування засобів раннього попередження, комбінованих периметральних давачів та нейромережевої відеоаналітики дозволяє мінімізувати людський чинник та забезпечити повну візуалізацію інцидентів у реальному часі.

Список використаних джерел

1. Про поводження з радіоактивними відходами. URL: https://urli.info/1oxaF (дата звернення: 27.04.2026).

2. Поводження з радіоактивними відходами при експлуатації АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом». URL: https://urli.info/1oxaO (дата звернення: 27.04.2026).

3. Правила технічної експлуатації полігонів, припинення експлуатації, рекультивації та догляду за полігонами після припинення їх експлуатації. URL: https://urli.info/1tPtZ (дата звернення: 27.04.2026).

ВЕБЗАСТОСУНОК З ПІДТРИМКОЮ СМАРТ-КОНТРАКТІВ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИКОНАННЯ КРИПТОТРАНЗАКЦІЙ

Сорочук Юрій Вікторович
Луцький національний тхнічний університет, студент, кафедра комп'ютерних наук, soroka1488777@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний тхнічний університет, асистент, кафедра комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

WEB APPLICATION WITH SMART CONTRACTS SUPPORT FOR SECURE CRYPTO TRANSACTIONS

Sorochuk Yurii
Lutsk National Technical University, student, department of computer science, soroka1488777@gmail.com
Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, assistant, department of computer science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

The paper presents the development of a web applicaton with smart contract for managing digital service orders and financial monitoring using Web3 technologies. The system is designed to facilitate software development and design services, manage user profiles, ensure secure payments via Ethereum smart contracts, and provide real-time tracking of transaction history. The proposed solution combines a hybrid web architecture based on React and Vite, decentralized authentication via MetaMask, a secure relational database model with Supabase (PostgreSQL), and automated blockchain protocols.

Keywords: Web 3.0, dApp, blockchain, Ethereum, smart contract, React, Vite, Ethers.js, Supabase, human-centric design, digital asset management, information system.

Сьогодні ми спостерігаємо парадоксальну ситуацію: чим швидше розвиваються блокчейн-технології, тим ширшою стає прірва між технічною досконалістю протоколів та їх доступністю

для пересічного користувача. Ця інформаційна асиметрія створює нову форму цифрової нерівності, де децентралізація сприймається не як інструмент свободи, а як закрита екосистема для вузького кола фахівців. На нашу думку, тотальне захоплення конвеєрними шаблонами та кодом, що автоматично генерується алгоритмами без належної емпатії до кінцевого замовника, призводить до появи бездушних інтерфейсів, які лише збільшують когнітивне навантаження. Ми переконані, що сучасні вебзастосунки мають повернутися до своєї первісної мети – бути «соціальним творінням», як заповідав Тім Бернерс-Лі, сприяючи співпраці людей, а не перетворюючись на складні технічні іграшки.

Проєктування нашої вебсистеми базується на гібридній архітектурній моделі, де інструменти Web 2.0 забезпечують необхідну швидкість відгуку інтерфейсу, а технології Web 3.0 виступають гарантом децентралізованої довіри. Ми переконані, що саме такий симбіоз дозволяє подолати прірву між складними протоколами та кінцевим споживачем послуг. Для побудови клієнтської сторони ми обрали бібліотеку React, яка завдяки компонентно-орієнтованому підходу дозволяє нам створювати інтерфейси, що легко масштабуються. Можливість розділення логіки на незалежні модулі є запорукою стабільності dApp. Використання сучасного інструмента збірки Vite забезпечує нам не лише високу продуктивність під час розробки, а й миттєвий візуальний фідбек.

Особливе місце в нашій системі посідає розробка та розгортання смарт-контрактів на мові Solidity. Ми розглядаємо цей етап як створення цифрового законодавства нашого проєкту. Solidity забезпечує ідеальний баланс між функціональною гнучкістю та надійністю деплою в мережу Ethereum. Для забезпечення безперешкодного зв’язку між динамічним інтерфейсом та статичним блокчейном нами було обрано бібліотеку Ethers.js. На нашу думку, її головна перевага полягає в чіткому розділенні функцій провайдера та підписанта (signer). Це дозволило нам інтегрувати гаманець MetaMask таким чином, щоб ініціація транзакції виглядала для користувача як природний етап

оформлення замовлення, а не як важка криптографічна операція. Ключовим аспектом нашої архітектури є розмежування потоків даних, що детально відображено на рисунку 1.

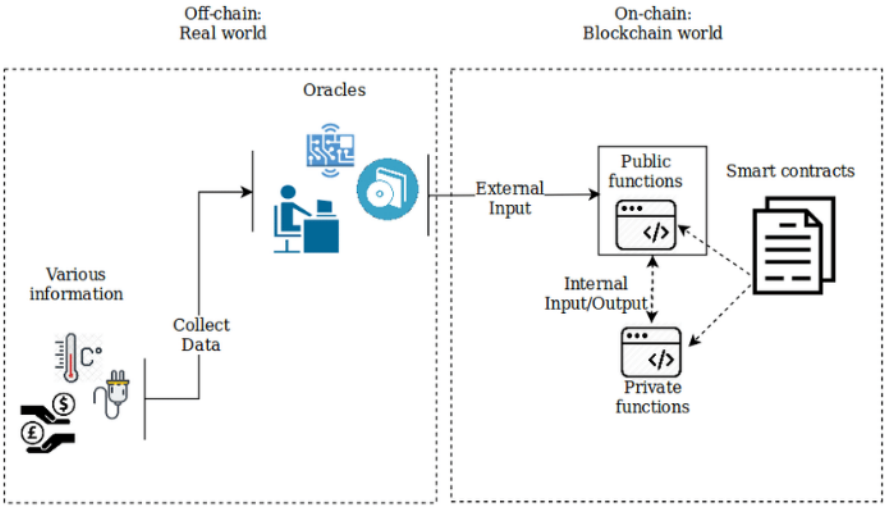


Рисунок 1. Процес комунікації між on-chain та off-chain [2]

Off-chain частина, реалізована через хмарну платформу Supabase (PostgreSQL), бере на себе завдання збереження метаданих профілів, портфоліо та поточної історії замовлень. Це дозволяє нам уникнути надмірних витрат «газу» (gas fees) та забезпечити миттєве завантаження сторінок. Водночас, on-chain частина відповідає виключно за фіксацію фактів оплати. Синхронізація між цими двома світами відбувається через прослуховування подій (Events) блокчейну, що дозволяє системі миттєво оновлювати статус замовлення в базі даних після підтвердження транзакції в мережі Ethereum.

Ми свідомо відмовилися від конвеєрних шаблонів на користь індивідуального проєктування кожного модуля. Наприклад, сторінка профілю авторизованого користувача в нашому вебзастосунку поєднує в собі три розрізнені потоки даних: персональні налаштування, історію звернень до підтримки та перелік оплачених замовлень. Ми переконані, що саме такий підхід, де візуальна естетика веб-дизайну підкреслює надійність

коду, дозволяє створити продукт з високим рівнем емпатії до замовника.

За час виконання роботи нами була створена цілісна екосистема, де кожен інструмент працює як єдиний механізм. Ми розробили та розгорнули смарт-контракт у тестовій мережі, що дозволило автоматизувати оплату послуг у сферах розробки десктопних рішень, вебзастосунків та графічного дизайну.

Наш підхід доводить: істинна інновація полягає у здатності розробника зробити складні речі простими для розуміння. Реалізація проєкту підтверджує, що децентралізовані фінанси можуть бути не лякаючим терміном, а зручним та безпечним інструментом. Ми спроєктували систему, де когнітивне навантаження мінімізоване, а довіра базується на відкритому та перевіреному коді. Ми впевнені, що через подолання технологічного бар'єру ми відкриваємо потенціал «справедливого інтернету» для широкого загалу, повертаючи користувачу контроль над власною ідентичністю та активами.

Список використаних джерел

1. Conflutech: «Thanks to Tim Berners-Lee for the happy Internaut Day». 2024. URL: https://conflutech.com/thanks-tim-berners-lee-happy-internaut-day/ (дата звернення: 23.04.2026).

2. HalScience. URL: https://hal.science/hal- 02108987/document (дата звернення 25.04.2026)

3. Web3 Foundation. URL: https://web3.foundation/about/ (дата звернення: 26.04.2026).

4. Stackpole T. «What is Web3». Harvard Business Review. 2022. URL: https://hbr.org/2022/05/what-is-web3 (дата звернення: 27.04.2026).

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ КОМУНІКАЦІЇ В МІКРОІНТЕРФЕЙСАХ: ІНТЕГРАЦІЯ WEBASSEMBLY, SHAREDARRAYBUFFER ТА EVENT BUS

Степанов Олександр
Національний університет "Львівська політехніка", аспірант, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, oleksandr.v.stepanov@lpnu.ua
Клим Галина
Національний університет "Львівська політехніка", доктор технічних наук, професор, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, halyna.i.klym@lpnu.ua

HYBRID COMMUNICATION MODEL IN MICRO-FRONTENDS: INTEGRATING WEBASSEMBLY, SHAREDARRAYBUFFER, AND EVENT BUS

Oleksandr Stepanov
Lviv Polytechnic National University, Ph.D. Student, Department of Specialized Computer Systems, oleksandr.v.stepanov@lpnu.ua
Halyna Klym
Lviv Polytechnic National University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Specialized Computer Systems, halyna.i.klym@lpnu.ua

The paper analyses approaches to ensuring high-performance interaction between independent micro-frontends when using WebAssembly (Wasm). It is established that traditional event-driven communication with data serialisation introduces a critical bottleneck, consuming up to 11.1% of CPU time at 60 FPS for 1 MB payloads. The proposed hybrid model combines a lightweight Event Bus for control signals with a SharedArrayBuffer and Atomics for zero-copy data access. This approach eliminates serialisation overhead, reduces transaction time to a constant 250 nanoseconds, and provides a quantitatively validated foundation for scalable micro-frontend systems.

Keywords: WebAssembly, micro-frontends, SharedArrayBuffer, concurrency, event bus, Atomics.

Сучасні інформаційні системи дедалі частіше вимагають обробки значних обсягів даних безпосередньо на стороні клієнта (обробка відео, 3D-графіка, машинне навчання). Для управління складністю розробки індустрія активно переходить від монолітних архітектур до мікроінтерфейсів [1]. Водночас виконання ресурсомістких задач стикається з обмеженнями продуктивності JavaScript. Технологія WebAssembly (Wasm) дозволяє досягти майже нативної швидкості, але її глибока інтеграція у розподілену архітектуру породжує фундаментальну проблему - високі накладні витрати на перетин межі середовищ (“bridge crossing”) між JavaScript та ізольованою пам’яттю Wasm.

Традиційна взаємодія між мікрофронтендами покладається на подієво-орієнтовані моделі (Event Bus) із серіалізацією та копіюванням даних. Кількісний аналіз показав, що такий підхід масштабується вкрай неефективно. Передача масиву розміром 1 МБ вимагає ~1,85 мілісекунди. При частоті рендерингу 60 кадрів на секунду (FPS) лише комунікаційні витрати споживають 11,1% доступного процесорного часу, повністю нівелюючи обчислювальні переваги WebAssembly.

Використання спільної пам'яті SharedArrayBuffer (SAB) усуває витрати на копіювання, проте асинхронний доступ до неї кількома незалежними мікрофронтендами неминуче призводить до проблеми паралелізму - стану “гонки даних” (race conditions).

Для комплексного розв’язання цих викликів було розроблено гібридну модель комунікації, яка розподіляє потоки передачі даних та керування. Легка шина подій (Event Bus) використовується виключно для асинхронної передачі керуючих сигналів - замість самих даних передаються вказівники (offset та length). Масиви даних зберігаються у SharedArrayBuffer, що є єдиним “джерелом істини”. Для безпечного паралельного доступу застосовуються механізми атомарного блокування Atomics (м'ютекси), які гарантують цілісність даних без блокування головного потоку браузера [2]. Кількісне порівняння розробленого підходу з класичною моделлю наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння підходів до комунікації в мікрофронтендах.

Критерій	Класичний Event Bus (+ Copy)	Гібридна модель (SAB + Atomics)
Час передачі 1 МБ	1 850 000 нс	250 нс
Алгоритмічна складність	O(n)	O(1)
Копіювання пам'яті	Так	Ні
Вирішення Race conditions	Не вимагається	Забезпечується (Atomics)
Навантаження на CPU (60 FPS)	11,1%	0,0015%

Незалежно від обсягу масиву (від 0,1 МБ до 10 МБ), час транзакції у гібридній моделі залишається стабільним на рівні 250–280 наносекунд. Пропускна здатність системи зростає до 4 млн транзакцій на секунду, забезпечуючи прискорення у 7 400 разів для 1 МБ даних.

Отже, розроблена гібридна модель комунікації фундаментально усуває вузькі місця серіалізації, надаючи кількісно валідовану основу для створення високопродуктивних мікрофронтенд-систем.

Список використаних джерел

1. Stepanov, O., & Klym, H. (2024). Methodology of implementation of information system using micro interfaces to increase the quality and speed of their development. Computer Systems and Networks (CSN), 6(2), 222–231. https://doi.org/10.23939/csn2024.02.222.

2. Watt, C. (2025). Concurrency in WebAssembly: Experiments in the web and beyond. ACM Queue, 23(3). https://doi.org/10.1145/3747201.3746173.

ВІДКЛАДЕНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ЗА ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ЗВ'ЯЗНОСТІ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ

Ткачов Віталій Миколайович
Харківський національний університет радіоелектроніки, к.т.н., доцент, докторант кафедри електронних обчислювальних машин, vitalii.tkachov@nure.ua

DELAYED SYNCHRONIZATION UNDER INTERMITTENT CONNECTIVITY IN AN INFORMATION SYSTEM ON A MOBILE PLATFORM

Tkachov Vitalii
Kharkiv National University of Radio Electronics, PhD, Associate Professor, Doctoral Candidate of the Department of Electronic Computers, vitalii.tkachov@nure.ua

The paper considers delayed synchronization in an information system on a mobile platform under intermittent connectivity. The focus is placed on local accumulation of changes, connectivity windows of variable duration and bandwidth, critical data prioritization, and consistency restoration under resource-time constraints.

Keywords: information system on a mobile platform, delayed synchronization, intermittent connectivity, survivability.

Функціонування інформаційної системи на мобільній платформі (ІСМП) відбувається за умов нестабільного доступу до ресурсів мережної інфраструктури, обмежених обчислювальних ресурсів, часткової спостережуваності стану мобільної платформи [1]. За таких умов синхронізація даних між локальними компонентами, віддаленими сервісами та вузлами оброблення даних ІСМП набуває відкладеного характеру. Локальні зміни накопичуються на окремих елементах ІСМП, а їх передавання, перевірка, узгодження та фіксація виконуються після появи доступного вікна зв'язності.

Відкладена синхронізація є суттєвою для систем, у яких збереження працездатності критичних функцій має вищий пріоритет, ніж негайне досягнення повної узгодженості всіх

реплік даних. Такий режим характерний для мереж, стійких до затримок, де обмін будується за принципом накопичення, перенесення та подальшої доставки повідомлень за нестабільного або відсутнього мережного з'єднання [2, 3]. Для ІСМП це означає потребу у відокремленні поточного локального стану даних, журналу змін, критичної частини даних та множини відкладених синхронізаційних дій.

Нехай ІСМП задається множиною елементів даних $A = \{a_i\}_{i=1}^{N}$, де для кожного елемента a_i у момент часу t визначено локальний стан $y_i(t)$, ознаку його критичності $c_i(t)$, обсяг накопичених змін $v_i(t)$ та допустимий інтервал очікування синхронізації $t_i^{\max}$. Множина змін, яка сформована локально та підлягає відкладеній синхронізації, задається у вигляді:

$$\mathrm{D}Y(t) = \left\{ \mathrm{D}y_i(t) : a_i \text{ ќ } A,\ v_i(t) > 0,\ \left(t - t_i^{m}\right) £\ t_i^{\max} \right\}, \quad (1)$$

де t_i^{m} – момент формування останньої локальної зміни елемента даних a_i.

Формула (1) визначає склад множини змін, які вже накопичені в ІСМП, але ще не передані для узгодження з іншими рівнями або вузлами системи. До цієї множини належать лише ті зміни, для яких наявний ненульовий обсяг локального оновлення та ще не вичерпано допустимий інтервал очікування синхронізації.

Переривчаста зв'язність задається як послідовність часових інтервалів, у межах яких канал між мобільною платформою та іншим вузлом ІСМП є придатним для передавання синхронізаційних даних. Для *k*-го вікна зв'язності вводяться параметри:

$$W_k = \left(t_k^{\neq}, t_k^{\text{ŕ}}, B_k\right), \quad (2)$$

де $t_k^{\neq}$ – момент відновлення придатного для синхронізації з'єднання; $t_k^{\text{ŕ}}$ – момент втрати такого з'єднання або завершення

доступного інтервалу передавання; B_k – ефективна швидкість передавання синхронізаційних даних у межах k-го вікна зв'язності, що враховує враховує фактичну пропускну здатність каналу, втрати пакетів, повторні передавання, службові витрати протоколів тощо.

Канальну місткість *k*-го вікна зв'язності визначається як максимальний обсяг синхронізаційних даних, який може бути переданий у межах цього вікна:

$$R_k = \int_{t_k^{\neq}}^{t_k^{\acute{r}}} B_k(t)dt. \qquad (3)$$

Канальна місткість (3) визначає граничний обсяг синхронізаційних даних, який може бути переданий у межах k-го вікна зв'язності. Для ІСМП це означає, що синхронізаційна дія має бути ініційована та завершена до втрати придатного з'єднання. Тому передавання змін слід розглядати разом із перевіркою цілісності, зіставленням версій, розв'язанням конфліктів та фіксацією узгодженого стану.

Якщо обсяг накопичених змін перевищує канальну місткість доступного вікна зв'язності, повна синхронізація всіх локальних даних є недоцільною. У такому разі необхідно обрати підмножину змін, що належать до критичної частини даних, мають менший залишковий інтервал очікування та більший вплив на продовження виконання основної функції системи. Для впорядкування таких змін вводиться оцінка пріоритету

$$p_i(t) = Vc_i(t) + x\frac{t - t_i^m}{t_i^{\max}} + z\,r_i(t), \qquad (4)$$

де $r_i(t)$ – оцінка ризику несвоєчасного узгодження елемента даних; V, x , z – вагові коефіцієнти.

Така оцінка (4) створює основу для впорядкування накопичених змін перед передаванням у межах обмеженого вікна зв'язності.

Конфлікти змін виникають за паралельного оновлення одного елемента даних на різних рівнях ІСМП. Для некритичних

операцій можливе застосування структур даних зі злиттям реплік без постійної координації. Для критичних даних вибір способу узгодження має враховувати ресурсний стан платформи, допустимий інтервал очікування синхронізації, пріоритет основної функції та канальну місткість доступного вікна зв'язності. У середовищах безпровідної взаємодії та кордонних обчислень ці вимоги посилюються мобільністю вузлів, нестійкістю ефективної швидкості передавання та обмеженістю локальних ресурсів [4].

Висновки. Таким чином, відкладена синхронізація за переривчастої зв'язності є керованим ресурсно-часовим процесом забезпечення живучості ІСМП. Її формалізація має враховувати вікна зв'язності, канальну місткість, обсяг локально накопичених змін, критичність даних, допустимі інтервали очікування та витрати на завершення узгодження. Подальший розвиток доцільно спрямувати на метод вибору мінімально достатньої синхронізаційної дії для пріоритетного узгодження критичної частини даних за обмеженого ресурсу мобільної платформи.

Список використаних джерел

1. Рубан І., Ткачов В. (2025) Таксономія та метрики оцінювання підходів до забезпечення живучості інформаційних систем. *Інформаційні технології і автоматизація*. XVIII міжнародна науково-практична конференція. С. 796–798. https://openarchive.nure.ua/handle/document/33069

2. Burleigh, S., Fall, K., & Birrane, E. (2022). *Bundle protocol version 7*. RFC Editor. https://doi.org/10.17487/rfc9171

3. Koukis, G., Safouri, K., & Tsaoussidis, V. (2024). All about Delay-Tolerant Networking (DTN) Contributions to Future Internet. *Future Internet*, 16(4), 129. https://doi.org/10.3390/fi16040129

4. Zanbouri, K., Noor-A-Rahim, M., John, J., Sreenan, C. J., Poor, H. V., & Pesch, D. (2024). A Comprehensive Survey of Wireless Time-Sensitive Networking (TSN): Architecture, Technologies, Applications, and Open Issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1. https://doi.org/10.1109/comst.2024.3486618

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОРІВНЕВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДАТА-ЦЕНТРУ

Фролов Дмитро Євгенович
Харківський національний університет радіоелектроніки,
асистент кафедри електронних обчислювальних машин,
dmytro.frolov@nure.ua

FORMALIZATION OF THE INTEGRAL FAULT-TOLERANCE CRITERION FOR A MULTILEVEL DATA CENTER INFORMATION SYSTEM

Frolov Dmytro
Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant Professor, Department of Electronic Computers,
dmytro.frolov@nure.ua

The paper proposes a formalized representation of the fault tolerance of a multi-level data center information system through an integral criterion of configuration suitability. The criterion combines the states of components at different levels, the possibility of redundancy coverage, service criticality, inter-level dependencies, the risk of cascading failure propagation, acceptable recovery time, and the resource costs required to maintain the configuration. The proposed representation makes it possible to consider fault tolerance as the result of selecting a configuration capable of maintaining critical services under existing constraints.

Keywords: information system, data center, fault tolerance, criterion, configuration.

Багаторівнева інформаційна система дата-центру (БІС ДЦ) функціонує як взаємозалежна сукупність серверів, мережних сегментів, систем зберігання даних, засобів віртуалізації, прикладних сервісів та механізмів управління ресурсами. Відмова окремого компонента може поширюватися між рівнями, змінювати доступність критичних сервісів, збільшувати тривалість відновлення та підвищувати ресурсні витрати на

підтримання працездатного стану [1]. Сучасні дослідження присвячені класифікаційним підходам до методів забезпечення відмовостійкості БІС [2], відомі методи адаптивного резервування ресурсів [3]. Подальшого уточнення потребує задача формалізації критерію, за яким можна оцінювати придатність альтернативних конфігурацій БІС ДЦ до підтримання критичних сервісів за наявних обмежень.

Метою роботи є формалізація інтегрального критерію конфігураційної придатності БІС ДЦ, який дає змогу оцінювати альтернативні конфігурації за сукупністю компонентних, резервних, міжрівневих, часових, ресурсних та інших ознак.

Нехай L – множина рівнів БІС ДЦ; $F_{\wp}$ – множина критичних сервісів; $L_f \subseteq L$ – множина рівнів, від яких залежить сервіс f; $C_{\ell f}$ – множина компонентів рівня ℓ, задіяних у виконанні сервісу f; $Z(t)$ – множина конфігурацій, доступних у момент часу t.

Тоді вибір відмовостійкої конфігурації доцільно подати через інтегральний критерій:

$$z^*(t) = arg \max_{z \in Z^{adm}(t)} \left(\frac{\sum_{f \in F_{crit}} \theta_f \Phi_f(z,t) \Psi_f(t) \Omega_f(z,t)}{1 + \alpha C(z,t) + \beta \sum_{\ell \in L} R_\ell(z,t) + \gamma N(z,t) + \delta M(z,t)} \right),$$

$$\Phi_f(z,t) = \prod_{\ell \in L_f} \prod_{c \in C_{\ell f}} [a_{\ell c}(t) + (1 - a_{\ell c}(t)) b_{\ell c}(z,t)]^{w_{\ell c f}},$$

$$\Psi_f(t) = exp\left(- \sum_{l,q \in L_f} \sigma_{\ell q f} p_{\ell q}(t) \right),$$

$$\Omega_f(z,t) = \left(1 + \frac{T_f(z,t)}{T_f^{max}} () \left(1 + \frac{V_f(z,t)}{V_f^{max}} () \right) \right)$$

$$Z^{adm}(t) = \left\{ z \in Z(t) \middle| \begin{array}{l} \forall f \in F_{crit}: T_f(z,t) \le T_f^{max} \\ \forall f \in F_{crit}: V_f(z,t) \le V_f^{max} \\ \sum_{\ell \in L} R_\ell(z,t) \le R^{max} \\ I_{\ell q}(z,t) \le I_{\ell q}^{max} | \{\} \end{array} \right\}$$

Формула задає вибір конфігурації $z^*(t)$ з множини допустимих конфігурацій $Z^{adm}(t)$ за максимумом інтегрального критерію. Тут: $a_{\ell c}(t)$ – індикатор працездатності компонента c на рівні ℓ; $b_{\ell c}(z,t)$ – індикатор резервного покриття компонента c у конфігурації z; $w_{\ell cf}$ – ваговий коефіцієнт важливості компоненту відносно сервісу f; θ_f – індикатор критичності сервісу; $p_{\ell q}(t)$ – коефіцієнт рівня ризику поширення відмови між рівнями; $\sigma_{\ell qf}$ – коефіцієнт міжрівневої залежності сервісу; $T_f(z,t)$ та $V_f(z,t)$ – очікувана тривалість відновлення і втрати стану даних; $C(z,t)$, $R_\ell(z,t)$, $N(z,t)$, $M(z,t)$ – відповідно нормовані одиниці ресурсних витрат на підтримання конфігурації, використання резервних ресурсів, інтенсивність реконфігураційних дій на умовну одиницю часу та коефіцієнт експлуатаційної складності.

$\Phi_f(z,t)$ відображає рівнево-компонентну придатність конфігурації: працездатний компонент враховується через $a_{\ell c}(t)$, а непрацездатний – через можливість резервного покриття $b_{\ell c}(z,t)$. Отже, критерій оцінює його придатність до підтримання конкретного критичного сервісу. Складова $\Psi_f(t)$ вводить ресурсні обмеження за міжрівневі каскадні залежності, коли відмова одного рівня може вплинути на інші рівні БІС ДЦ – з метою мінімізації втрати ресурсів на рівнях, які потенційно можуть перестати функціонувати.

Складова $\Omega_f(z,t)$ визначає темпоральну придатність відновлення через $T_f(z,t)$ та $V_f(z,t)$. Множина $Z^{adm}(t)$ відсікає конфігурації, що порушують допустимі обмеження часу відновлення, резервного ресурсу або міжрівневої узгодженості. Знаменник критерію обмежує надмірне резервування та реконфігураційну активність, оскільки зростання ресурсних затрат, використання резерву, кількості реконфігурацій знижує інтегральну придатність конфігурації.

Висновки. У роботі формалізовано інтегральний критерій конфігураційної придатності БІС ДЦ. Запропоноване математичне подання дає змогу порівнювати альтернативні конфігурації дата-центру за їх здатністю підтримувати критичні сервіси в умовах часткових відмов і обмеженого резервного

ресурсу. Практичне значення результату полягає у можливості попереднього вибору конфігурації та виявлення варіантів, у яких підвищення відмовостійкості досягається ціною надмірної ресурсної або експлуатаційної складності БІС ДЦ.

Список використаних джерел

1. Ponochovnyi, Y.; Ivanchenko, O.; Kharchenko, V.; Udovyk, I.; Baiev, E. Models for Cloud System Availability Assessment Considering Attacks on CDN and ML Based Parametrization. CEUR Workshop Proc. 2022, 3171, 1149–1159.

2. Tkachov V., Ruban I. Integral survivability metric of an information system on a mobile platform under functional cascading and secondary failures. Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2025. No. 4(34). P. 78–100. URL: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.4.078.

3. Фролов Д. Є. Метод адаптивного резервування ресурсів у багаторівневих структурах складних інформаційних систем. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. Т. 2, № 4(95). С. 177–188. URL: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.2.22.

БЕЗСЕРВЕРНА АРХІТЕКТУРА АНАЛІТИКИ ДАНИХ В MICROSOFT AZURE

Шевцова Наталія Вікторівна
Рівненський державний гуманітарний університет, доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, к.т.н.,
natalia.shevtsova@rshu.edu.ua

SERVERLESS DATA ANALYTICS ARCHITECTURE IN MICROSOFT AZURE

Shevtsova Nataliia Viktorivna
Rivne State University of the Humanities, Associate Professor at the Department of Information Technologies and Modeling, Ph.D.,
natalia.shevtsova@rshu.edu.ua

A five-level cloud analytics architecture on Microsoft Azure is presented, covering the full data processing cycle from sources to visualization. The architecture includes data ingestion via Event Hubs and Data Factory, centralized storage in ADLS Gen2, processing using Stream Analytics, Data Factory and Databricks, analytics and visualization via Azure Synapse and Power BI. Key principles are decoupling compute and storage, serverless model, and batch/streaming support. The approach ensures scalability, cost optimization and component independence.

Keywords: cloud analytics, Microsoft Azure, data lake, serverless computing, ETL, streaming analytics, data visualization.

Сучасна корпоративна аналітика вимагає архітектури, здатної обробляти потоки даних у реальному часі, масштабуватись до петабайт інформації та забезпечувати миттєву реакцію на бізнес-запити. Традиційні рішення, побудовані на локальних сховищах даних, стикаються з обмеженнями щодо ємності, продуктивності та вартості розширення. Хмарна платформа Microsoft Azure надає повний стек сервісів, які в оптимальній конфігурації створюють безшовний пайплайн від надходження даних до візуалізації [1, 2, 3]. Ключовим принципом такої архітектури є розділення обчислень та зберігання, що

дозволяє незалежно масштабувати ці компоненти та оптимізувати витрати. Замість монолітних систем, де збільшення сховища автоматично тягне за собою зростання обчислювальних потужностей, хмарна архітектура дозволяє платити лише за реальне споживання кожного ресурсу окремо.

Додатковою перевагою є безсерверна модель виконання, яка усуває необхідність попереднього виділення ресурсів. Запити виконуються лише за потреби, а обчислювальне середовище активується та деактивується автоматично. Це особливо важливо для аналітичних навантажень із нерівномірним графіком, зокрема нічних ETL-процесів. Крім того, сучасна архітектура має підтримувати як пакетну обробку для великих обсягів даних, так і потокову для аналітики в реальному часі, що досягається комбінацією різних сервісів в єдиному пайплайні [1, 3].

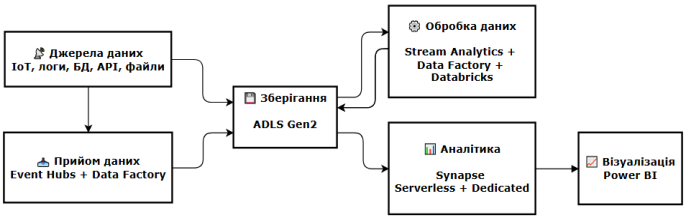


Рисунок 1. Архітектура хмарної аналітики на базі Microsoft Azure

Наведена на рисунку 1 схема ілюструє п'ятирівневу архітектуру, яка забезпечує повну ізоляцію етапів обробки даних. Перший рівень (джерела даних) включає потокові дані з IoT-пристроїв, серверні логи, транзакційні бази даних, зовнішні API та файлові джерела. Другий рівень (прийом даних) реалізується через Azure Event Hubs [3] для потокових даних та Azure Data Factory [1] для пакетного завантаження файлів. Третій рівень (зберігання) представлений централізованим озером даних Azure Data Lake Storage Gen2, яке забезпечує єдину консистентну версію даних для всієї системи. Четвертий рівень (обробка даних) розділений на потокову обробку (Azure Stream Analytics з підтримкою Tumbling Window [3]), пакетну ETL (Azure Data Factory Data Flow [1]) та

складні трансформації (Azure Databricks). Результати обробки повертаються до озера даних, що забезпечує ідемпотентність та можливість перезапуску пайплайнів без втрати даних. П'ятий рівень (аналітика та візуалізація) включає Azure Synapse [2] для виконання запитів безпосередньо до сховища та Power BI для побудови інтерактивних дашбордів з автооновленням.

Така декомпозиція дозволяє замінювати або оновлювати окремі компоненти без перебудови всієї системи, що критично для довготривалих корпоративних рішень. Додатковою перевагою є незалежне масштабування кожного рівня, де зберігання автоматичне, обчислення безсерверні, а візуалізація підтримує DirectQuery до петабайтних даних.

Безпека та керування в запропонованій архітектурі реалізуються через Azure Purview для каталогізації даних та відстеження потоків, Microsoft Entra ID для централізованого керування доступом. Моніторинг виконується через Azure Monitor та Log Analytics, що дозволяє налаштовувати сповіщення на споживання ресурсів. Такий підхід забезпечує корпоративний рівень безпеки при оптимальних витратах.

Розроблена архітектура може бути використана як типовий шаблон для побудови корпоративних аналітичних рішень, що потребують обробки великих даних. Він може бути масштабований на суміжні задачі, включаючи прогнозну аналітику, виявлення аномалій у потокових даних та побудову систем рекомендацій на основі агрегованих даних.

Список використаних джерел

1. *Azure Data Factory documentation*. URL: https://learn.microsoft.com/azure/data-factory/ (дата звернення: 05.05.2026).

2. *Azure Synapse Analytics documentation*. URL: https://learn.microsoft.com/en-gb/azure/synapse-analytics/ (дата звернення: 05.05.2026).

3. *Azure Stream Analytics documentation*. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/stream-analytics/ (дата звернення: 05.05.2026).

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ IOT-СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ KUBERNETES ТА SRE-ПРАКТИК

Шитіков Максим Юрійович
Луцький національний технічний університет, магістр спеціальності інженерія програмного забезпечення, shytikov_12858480@lutsk-ntu.com.ua
Ліщина Наталія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED IOT INFRASTRUCTURE MONITORING SYSTEM USING KUBERNETES AND SRE PRACTICES

Shitikov Maksym
Lutsk National Technical University, Master's degree in Software Engineering, shytikov_12858480@lutsk-ntu.com.ua
Nataliia Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, Head of the Software Engineering Department, n.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua

Managing distributed IoT deployments exposes limitations of cloud-centric monitoring, including high latency (>100 ms), bandwidth overhead, and limited offline resilience. This paper evaluates lightweight Kubernetes distributions (K3s, MicroK8s) combined with Site Reliability Engineering (SRE) for edge environments. Results from a Smart City prototype show up to 60% latency reduction, 40–50% lower resource usage, and improved uptime from ~75% to over 95%. The findings suggest that integrating edge orchestration with SRE practices enables more reliable production-grade IoT infrastructure.

Keywords: IoT, Kubernetes, Site Reliability Engineering, infrastructure monitoring, edge computing, observability, fault tolerance.

Стрімке зростання парку IoT-пристроїв загострює проблему моніторингу розподіленої інфраструктури та підтримання її надійності. За даними IoT Analytics, у 2025 році кількість підключених IoT-пристроїв досягне 21,1 мільярда та продовжує зростати, що формує потребу в ефективних системах моніторингу та управління розподіленою інфраструктурою [1].

Традиційні хмарні архітектури стикаються з обмеженнями в середовищах, чутливих до затримки та з обмеженими ресурсами. Централізована обробка даних призводить до високої латентності (50-200 мс), значного використання пропускної здатності мережі та обмежених можливостей роботи в реальному часі. Це робить традиційні підходи непридатними для критичних IoT-застосунків, таких як промислова автоматизація, медичний моніторинг та розумні міста.

Kubernetes, як провідна платформа оркестрації контейнерів, забезпечує автоматизацію розгортання, масштабування та управління застосунками. Однак його застосування у граничних обчисленнях (edge computing) створює унікальні виклики: обмежені обчислювальні ресурси, переривчасте мережеве з'єднання та підвищені вимоги до безпеки [2].

Дослідження показує, що легковагі дистрибутиви Kubernetes, такі як K3s та MicroK8s, дозволяють зменшити використання ресурсів на 40-60% порівняно з традиційним Kubernetes. Це робить їх придатними для розгортання на edge-пристроях з обмеженою обчислювальною потужністю. Порівняльний аналіз продуктивності (рис. 1) демонструє суттєві переваги edge-оптимізованих рішень.

Site Reliability Engineering (SRE) – це дисципліна, що поєднує принципи програмної інженерії з операційними практиками для побудови масштабованих та надійних систем. Ключові SRE-практики для IoT-середовища включають: Service Level Indicators (SLI) для вимірювання якості сервісу, Service Level Objectives (SLO) для встановлення цільових показників надійності та Error Budgets для балансування між швидкістю впровадження змін та стабільністю системи [3].

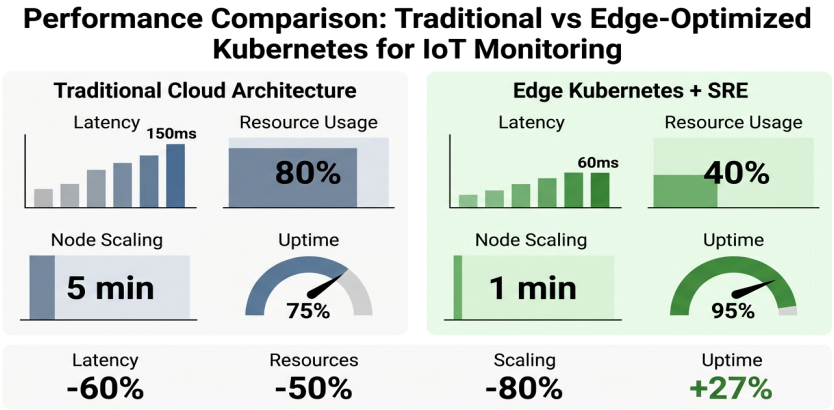


Рисунок 1. Порівняння продуктивності традиційної хмарної архітектури та Edge Kubernetes + SRE [2]

Впровадження SRE-практик у реальних проектах Smart City IoT демонструє значні покращення: uptime критичних вузлів зростає з 93% до 99,2%, час виявлення та відновлення після відмов скорочується на 57%, а кількість помилкових алертів зменшується на 68%. Досяжний рівень доступності з повним впровадженням SRE-практик становить 99,99% [1, 3].

Відмовостійкість IoT-систем досягається через механізми graceful degradation, circuit breakers та локальні черги повідомлень, що буферизують дані при тимчасовій втраті з'єднання. GitOps-підхід на базі ArgoCD забезпечує автоматичне узгодження конфігурації кластера та прискорює відновлення після збоїв.

Розвиток інфраструктури із застосуванням Kubernetes та SRE-практик є важливим напрямом еволюції розподілених IoT-систем, особливо в умовах переходу до edge-обчислень. Використання легковагої контейнерної оркестрації, такої як K3s і MicroK8s, у поєднанні з підходами Site Reliability Engineering дозволяє не лише ефективно керувати сервісами на периферії мережі, але й забезпечувати стабільність їх роботи за обмежених ресурсів і нестабільного з’єднання. Така інтеграція сприяє зменшенню затримок обробки даних, оптимізації використання

мережевих і обчислювальних ресурсів, а також підвищенню загальної відмовостійкості системи.

Отримані результати підтверджують практичну доцільність поєднання K3s/MicroK8s із SRE-методологією, зокрема застосування підходів error budget та Service Level Objectives (SLO). Запровадження цих практик дозволяє формалізувати вимоги до надійності та здійснювати їх постійний моніторинг, що є критично важливим для edge-середовищ. У результаті вдається скоротити латентність до прийнятних значень, підтримувати доступність критичних вузлів на рівні до 99,99%, а також ефективно оптимізувати ресурсне навантаження на обмежене апаратне забезпечення. Такий підхід створює передумови для побудови масштабованих, надійних і продуктивних IoT-інфраструктур у виробничих умовах.

Список використаних джерел

1. IoT Analytics. State of IoT 2024: Number of connected IoT devices. URL: https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/ (date of access: 24.04.2026).

2. Kodakandla N. Optimizing Kubernetes for Edge Computing: Challenges and Innovative Solutions. URL: https://www.irejournals.com/formatedpaper/1702659.pdf (date of access: 24.04.2026).

3. Інтеграція SRE-практик та розвиток інженерної культури управління інцидентами. URL: https://journal.gen.tech/post/integraciya-sre-praktik-ta-rozvitok-inzhenernoyi-kulturi (дата звернення: 24.04.2026).

КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ БАГАТОВИМІРНОГО АНАЛІЗУ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ

Шумейко Костянтин Павлович
Національний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри ІТ, nickolay.rud@gmail.com

CONCEPT OF A MODEL FOR AUTOMATING THE CONTROL OF HYDROACOUSTIC PROCESSES BASED ON MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS OF MULTIMODAL DATA

Shumeiko Konstantin Pavlovych
Odesa Polytechnic National University, postgraduate student of the IT Department, nickolay.rud@gmail.com

This paper proposes a practical concept of an automated control model for hydroacoustic processes based on multidimensional analysis of multimodal data. The approach demonstrates improved adaptability and robustness through the integration of hybrid intelligent methods and data fusion techniques.

Keywords: hydroacoustic systems, multimodal data, multidimensional analysis, intelligent control.

У прикладних задачах морської інженерії та підводного моніторингу зростає потреба у створенні ефективних систем автоматизованого управління гідроакустичними процесами, здатних функціонувати в умовах високої невизначеності, зашумленості та динамічності середовища [1]. Традиційні підходи, що базуються на вузькоспеціалізованих алгоритмах обробки сигналів, не забезпечують достатнього рівня адаптивності та узагальнення, особливо в ситуаціях, коли дані надходять із різнорідних джерел і мають різну природу [2]. У цьому контексті доцільним є формування концепції моделі автоматизації управління, що ґрунтується на багатовимірному аналізі мультимодальних даних та інтеграції сучасних інтелектуальних підходів [3].

Запропонована концепція орієнтована на створення прикладної архітектури, яка забезпечує повний цикл роботи з гідроакустичною інформацією від моменту її збору до формування керуючих впливів. Основною ідеєю є поєднання різних типів даних, зокрема акустичних сигналів, параметрів середовища, телеметричної інформації та допоміжних джерел, у єдиному аналітичному просторі. Такий підхід дозволяє враховувати контекстні фактори, що суттєво впливають на точність розпізнавання та ефективність управління

Концептуальна модель системи передбачає багаторівневу організацію, у межах якої кожен рівень виконує чітко визначені функції. На базовому рівні здійснюється збір і первинна обробка даних, що включає фільтрацію шумів, синхронізацію потоків та нормалізацію параметрів. Важливим аспектом є забезпечення узгодженості даних, що надходять із різних сенсорів, з урахуванням їх часових і просторових характеристик. Це створює основу для подальшого багатовимірного аналізу.

Наступний рівень відповідає за інтеграцію мультимодальних даних і формування узагальнених представлень. У межах цього рівня застосовуються методи злиття даних, які дозволяють об’єднувати інформацію з різних джерел у єдину структуру. Використання підходів раннього та пізнього злиття забезпечує гнучкість у роботі з різними типами даних і дозволяє адаптувати систему до конкретних умов експлуатації. Особлива увага приділяється узгодженню масштабів і форматів даних, що є критично важливим для забезпечення коректності подальшого аналізу. Ключовим елементом запропонованої концепції є рівень багатовимірного аналізу, який забезпечує виявлення закономірностей у складних даних. У цьому контексті використовуються методи зниження розмірності, кластеризації та виявлення латентних структур. Такі підходи дозволяють виділити найбільш інформативні ознаки та зменшити вплив шумів. Крім того, застосування багатовимірного аналізу сприяє підвищенню інтерпретованості результатів, що є важливим для прийняття управлінських рішень. На рівні інтелектуальної обробки реалізується використання моделей машинного та глибокого

навчання, які забезпечують адаптивність системи. У межах концепції передбачається застосування гібридних архітектур, що поєднують різні типи моделей залежно від характеру даних. Для обробки акустичних сигналів доцільно використовувати моделі, орієнтовані на аналіз часових залежностей і спектральних характеристик.

Для роботи з контекстними даними ефективними є моделі, здатні враховувати складні взаємозв'язки між параметрами. Інтеграція результатів роботи різних моделей здійснюється за допомогою механізмів ансамблювання та агрегування. Особливістю запропонованої концепції є акцент на адаптивному управлінні, яке реалізується на основі результатів аналізу. Система не лише здійснює розпізнавання об'єктів і станів, але й формує рекомендації або автоматично генерує керуючі впливи. Для цього використовуються підходи, що враховують поточний стан системи, історичні дані та прогнозні оцінки. Важливим є забезпечення зворотного зв'язку, який дозволяє коригувати поведінку системи та підвищувати її ефективність у процесі експлуатації.

З прикладної точки зору значну увагу приділено питанням реалізації програмної інфраструктури системи. Архітектура передбачає використання розподілених обчислень і модульного підходу, що забезпечує масштабованість і гнучкість. Кожен функціональний компонент реалізується у вигляді окремого сервісу, що дозволяє спростити інтеграцію та оновлення системи. Використання сучасних технологій обробки потокових даних забезпечує можливість роботи в режимі реального часу.

Важливим аспектом є забезпечення стійкості системи до змін умов середовища. У гідроакустичних задачах це має особливе значення через варіативність параметрів середовища та вплив зовнішніх факторів. Запропонована концепція передбачає використання механізмів адаптації, що дозволяють оновлювати моделі на основі нових даних і підтримувати актуальність результатів. Це досягається шляхом впровадження процедур безперервного навчання та моніторингу якості моделей.

Окремо слід відзначити роль мультимодальності у

підвищенні ефективності системи. Використання різних типів даних дозволяє компенсувати обмеження окремих джерел і підвищити надійність результатів. Наприклад, поєднання акустичних і контекстних даних дозволяє більш точно визначати характеристики об'єктів і їх поведінку. Це є особливо важливим у складних умовах, де окремі джерела можуть бути недостатньо інформативними.

У рамках запропонованої концепції також враховується необхідність забезпечення інтерпретованості результатів. Це досягається шляхом використання методів аналізу важливості ознак і візуалізації даних, що дозволяє користувачам краще розуміти логіку роботи системи. Такий підхід підвищує довіру до системи та сприяє її практичному впровадженню.

Загалом запропонована модель автоматизації управління гідроакустичними процесами базується на інтеграції багатовимірного аналізу та мультимодальних даних із сучасними інтелектуальними методами. Вона орієнтована на вирішення прикладних задач і враховує особливості реальних умов експлуатації. Реалізація цієї концепції дозволяє підвищити точність розпізнавання, ефективність управління та стійкість системи до зовнішніх впливів.

Список використаних джерел

1. Peng, Z., Li, X., Wang, Y., & Chen, H. (2022). Multimodal data fusion for underwater acoustic signal processing: A deep learning approach. IEEE Access, 10, 45678–45690. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3167890

2. Zhao, L., Zhang, M., & Liu, Q. (2023). Intelligent control of underwater acoustic systems using hybrid machine learning models. Ocean Engineering, 278, 114567. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114567

3. Kim, S., Park, J., & Lee, K. (2024). Multidimensional data analysis for adaptive sonar systems in dynamic environments. Sensors, 24(8), 2987. https://doi.org/10.3390/s24082987.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА NFT З ПІДТРИМКОЮ ERC-721 ТА ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ

Якимук Дмитро Миколайович
Луцький національний технічний університет, студент групи ІПЗм-11, кафедра інженерії програмного забезпечення, dmytroyakimuk@gmail.com
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN NFT GENERATOR WITH ERC-721 SUPPORT AND DECENTRALIZED STORAGE

Dmytro Yakymuk
Lutsk National Technical University, student of IPZm-11 group, Software Engineering Department, dmytroyakimuk@gmail.com
Andrii Yashchuk
Lutsk National Technical University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Software Engineering Department, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

The paper reviews existing tools for creating NFT collections on Ethereum and shows that the market is fragmented: no product covers the full lifecycle from image generation to sales analytics. Four popular solutions (HashLips, Bueno, Manifold, NFT Art Generator) are compared across seven functional criteria. The paper then analyses technologies suitable for an integrated open-source platform that would close the identified gap, covering server language, front-end stack, Web3 libraries, wallet integration, whitelist verification, smart contract standards and off-chain metadata storage.

Keywords: NFT, Ethereum, ERC-721, Merkle tree, MetaMask, smart contract, Web3.

Ринок невзаємозамінних токенів після піку 2022 року зазнав

глибокого спаду, а у 2025-му повертається до зростання: за даними DappRadar, у третьому кварталі 2025 року продано 18,1 млн токенів на 1,6 млрд дол. США [4]. До класичного колекційного мистецтва додалися токенізовані реальні активи (Real-World Assets) та sports-NFT. Інфраструктурною основою всіх цих операцій залишаються публічні блокчейни, концептуальний фундамент яких у 2008 році заклав С. Накамото [1].

Попри зрілість ринку, процес випуску окремої колекції технічно складний. Автор змушений поєднувати щонайменше п'ять непов'язаних між собою етапів: генерацію шарових зображень, формування JSON-метаданих, завантаження у децентралізоване сховище, розгортання смарт-контракту і запуск мінт-сайту з whitelist. Для кожного етапу існують різні продукти з різними інтерфейсами та різними вимогами до знань користувача. Для дизайнера без досвіду у Solidity це фактично означає кілька місяців навчання перед першою колекцією.

Огляд продуктів, які сьогодні використовуються на практиці, показує чітку галузеву фрагментацію. HashLips Art Engine – відкритий Node.js-скрипт з прозорим алгоритмом та нульовою вартістю; його недоліки – відсутність графічного інтерфейсу, розгортання контракту і whitelist. Bueno – веб-платформа no-code з інтеграцією IPFS; підписка від 50 дол. на місяць, вихідний код закритий, конструктор мінт-сайту не передбачений. Manifold Studio орієнтований на контрактну частину (ERC-721, ERC-1155) і дає повний контроль над Solidity-кодом, проте не виконує генерацію зображень та вимагає впевненого розуміння блокчейну. NFT Art Generator, 2024 року перейменований на OneMint, обмежується онлайн-генерацією з жорсткими лімітами безкоштовного тарифу. Продукти, що з'явилися у 2025 році (NFT-Minter, MoonPier, Dropspace), а також AI-сервіси на зразок NightCafe розширюють асортимент, але не виходять за межі однієї ділянки пайплайну.

Якщо звести функціональність у матрицю з семи критеріїв (генерація зображень, веб-інтерфейс, розгортання контракту, Merkle-whitelist, мінт-сайт, аналітика продажів, відкритий код),

жоден з розглянутих продуктів не перекриває більше чотирьох пунктів. Ринок розчленований: інструменти для художників не працюють з контрактами, а платформи для контрактів не займаються графікою. Інтегрованого рішення з відкритим кодом, яке провело б автора через усі сім кроків, сьогодні не існує. Це визначає предметну область дослідження магістерської роботи.

Для серверної мови розглядаються три кандидати: Go, Node.js та Python. Go компілюється у статично лінкований бінарник без зовнішніх залежностей та має нативні горутини для масового паралельного рендеру зображень. Бібліотека go-ethereum надає готову криптографію secp256k1, Keccak-256, ABI-кодування та перевірку ECDSA-підписів. Node.js працює в одному потоці, що створює відчутну проблему при одночасній генерації тисяч файлів. Python поступається Go на CPU-інтенсивних задачах композиції шарів. Для описаної задачі найбільш обґрунтованим вибором є Go.

Для клієнтської частини оптимальним виглядає React з TypeScript. Компонентна модель та code splitting дозволяють тримати бандл стрункішим, а статичні типи ABI-структур контракту попереджають цілий клас помилок у Web3-коді, які інакше проявляються вже під час транзакції, коли користувач заплатив комісію.

Для взаємодії з блокчейном з веб-клієнта традиційно використовуються дві бібліотеки – web3.js та ethers.js. Ethers.js виграє порівняння за кількома критеріями: розмір бандлу 116 КБ проти 590 КБ у web3.js, модульна архітектура, якісніші типи TypeScript та зручніша робота з BigNumber. Web3.js довгий час був стандартом галузі, але через монолітність і слабке типування поступово витісняється.

Домінантним Web3-гаманцем у браузері залишається MetaMask. Контракт взаємодії dApp з гаманцем – об'єкт window.ethereum, метод request та події accountsChanged і chainChanged – стандартизовано у специфікації EIP-1193 [6]. Принциповим наслідком цього стандарту є те, що приватний ключ не залишає гаманець: сервер ніколи не отримує паролів чи seed-фраз. Автентифікацію в такій моделі доцільно будувати за

схемою challenge-response: сервер генерує одноразовий nonce, клієнт підписує його ECDSA-підписом, сервер перевіряє підпис, після чого nonce оновлюється. Схема усуває ризик replay-атак і не потребує серверного зберігання паролів.

Для списків дозволених учасників мінту найбільш економним рішенням є дерево Меркла з хеш-функцією Keccak-256. У контракт записується лише 32-байтний корінь, а клієнт при мінті передає proof – послідовність хешів від свого листа до кореня. Розмір whitelist не впливає на вартість транзакції: що сто учасників, що сто тисяч – газ транзакції однаковий. Альтернатива у вигляді зберігання всього списку у storage контракту вимагала б O(n) SSTORE-операцій, що на великих списках стає непідйомним.

Актуальним стандартом для унікальних цифрових активів є ERC-721. Обов'язковий інтерфейс (ownerOf, transferFrom, safeTransferFrom, approve) та схема tokenURI з полями name, description і image визначені у специфікації EIP-721 [2]. У порівнянні з ERC-1155 стандарт 721 має ширшу підтримку маркетплейсами (OpenSea, Rarible) і природніше лягає на моделі рідкісності у колекціях цифрового мистецтва. Мовою реалізації доцільно обрати Solidity 0.8+: починаючи з цієї версії вбудовано перевірку переповнень арифметики, що знімає цілий клас вразливостей. Як базова бібліотека індустріальним стандартом є OpenZeppelin Contracts (ERC721.sol, Ownable.sol, MerkleProof.sol) [5]: її модулі пройшли численні аудити, а код контракту після деплою змінити неможливо, тому покладатися на непротестовані реалізації економічно ризиковано.

On-chain зберігання виключається з економічних міркувань: запис одного 32-байтного слота коштує 20 000 газу за операцією SSTORE, тобто близько 640 000 газу на 1 КБ даних згідно з таблицею витрат EVM у Yellow Paper [3]. За поточних цін газу це у сотні тисяч разів дорожче за будь-яке off-chain-рішення. Серед off-chain-альтернатив розглядаються IPFS, Arweave та Storj. IPFS вимагає постійного pinning у сторонніх сервісах, інакше файл може зникнути з мережі. Arweave пропонує перманентне зберігання за разову вищу плату. Storj – S3-сумісне

децентралізоване сховище з вбудованою надлишковістю – дає передбачувану доступність і звичний об'єктний API, що для NFT-колекцій середнього розміру виглядає оптимальним компромісом.

Ринковий огляд фіксує відсутність інтегрованої відкритої платформи для повного циклу NFT-колекції. Технологічний аналіз показує, що такий продукт може бути побудований на комбінації Go (серверна частина), React з TypeScript (клієнтська частина), ethers.js (взаємодія з блокчейном), Solidity з бібліотекою OpenZeppelin (смарт-контракт) та Storj (сховище метаданих). Ключовими архітектурними рішеннями виступають дерево Меркла для whitelist та підпис EIP-1193 для автентифікації: перше знімає обмеження на розмір списку, друге позбавляє системи потреби у паролях та серверних сесіях. Описаний стек та архітектурні принципи складатимуть технологічну базу розробки у рамках магістерської роботи.

Список використаних джерел

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

2. Entriken, W., Shirley, D., Evans, J., & Sachs, N. (2018). EIP-721: Non-Fungible Token Standard. Ethereum Improvement Proposals. Retrieved from https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721

3. Wood, G. (2022). Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger (Berlin Version). Ethereum Yellow Paper. Retrieved from https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf

4. DappRadar. (2025). State of the Dapp Industry Q3 2025. Retrieved from https://dappradar.com/reports

5. OpenZeppelin. (2024). OpenZeppelin Contracts Documentation. Retrieved from https://docs.openzeppelin.com/contracts

6. Wackerow, P. (2018). EIP-1193: Ethereum Provider JavaScript API. Ethereum Improvement Proposals. Retrieved from https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1193

DEPENDENCY PROBLEMS IN CLOUD COMPUTING PLATFORMS

Igor Andrushchak
Lutsk National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor
Heorhii Bandach
Lutsk National Technical University, Postgraduate Student of Department of Software Engineering, georg.bnd@gmail.com

This paper analyzes dependency mechanisms in cloud computing platforms including vendor lock-in strategies, hidden costs, and technical constraints imposed by multi-tenant architecture. The study examines how providers like AWS, Azure, Google Cloud, and Salesforce create customer dependency through free tiers, complex pricing, egress fees, and proprietary technologies. Strategies for mitigating platform dependency are discussed.

Keywords: cloud computing, vendor lock-in, hidden costs, egress fees, multi-tenancy, platform dependency.

Over the past decade, cloud computing platforms have become an integral part of the IT infrastructure of modern organizations. In 2024, the global cloud services market reached 679 billion dollars, and over 94% of enterprises use at least one cloud platform [1]. The primary motivations for cloud migration include reducing capital expenditure on hardware, the ability to rapidly scale resources according to current needs, automatic software updates, and transferring infrastructure maintenance responsibility to the provider. However, behind the appeal of these advantages lies a systemic problem – the formation of a persistent dependency on a specific cloud provider that restricts freedom of choice and increases organizational costs over time.

Amazon Web Services (AWS) holds the dominant position in the cloud market, controlling approximately 31% of the global cloud services market. It is followed by Microsoft Azure at 25% and Google Cloud Platform at 11% [2]. It is notable that Amazon's retail business, despite enormous sales volumes, generates minimal profit, while AWS

provides the bulk of the corporation's operating income. This demonstrates that cloud services, with their recurring payment model and high customer retention rates, form the financial foundation of the largest technology companies.

The mechanisms for creating cloud platform dependency can be classified into several categories. The first is the free tier strategy: AWS offers 12 months of free access to basic services, Azure provides a 200-dollar credit, and Google Cloud offers 300 dollars over 90 days. Once an organization begins using a platform, it invests resources in configuration and integration, making a transition economically disadvantageous.

The second category is the deliberate complication of pricing models. The AWS price list contains over 300 different services, each with dozens of pricing parameters. This complexity makes it virtually impossible to accurately forecast monthly expenses and complicates cost comparisons between providers.

The third category is high egress fees. Cloud providers typically do not charge for uploading data to their cloud but impose fees of 0.09 to 0.15 dollars per gigabyte for data retrieval. For enterprises with terabyte-scale data volumes, this amounts to tens of thousands of dollars, creating a significant financial barrier to migration [4]. The fourth category involves proprietary technologies: an application built on AWS Lambda and DynamoDB cannot be transferred to Azure without complete code rewriting due to the lack of standardization between platforms.

The Salesforce platform deserves separate consideration as an example of additional dependency mechanisms. The basic plan includes limited data storage: 10 GB per organization for Enterprise Edition plus 20 MB per user. A critical issue is that the platform does not proactively notify customers when they approach or exceed storage limits. Organizations can unknowingly accumulate terabytes of data through meeting notes, compliance documents, case histories, and integration logs without receiving any warning from the provider [5]. The overage is only discovered when the customer independently checks storage metrics or when the system begins blocking new data entry. At that point, the Salesforce account team promptly arrives with

a quote for additional storage capacity at premium rates of 125 dollars per month per 500 MB. These emergency purchases carry an additional 8–10% annual uplift clause through to the next renewal, meaning a 30,000-dollar storage purchase signed under pressure will cost closer to 36,000 dollars by the end of a three-year term [6]. Cases have been documented where global companies discovered storage overages exceeding 120% and faced unexpected annual costs of over 50,000 dollars. Beyond storage, Salesforce applies annual license price increases of 7–10% at renewal, charges 20–30% of license costs for premium support, and imposes early termination penalties if customers attempt to reduce licenses or exit the contract [5]. Technical dependency is further reinforced by the governor limits system – strict constraints on code execution within each transaction: a maximum of 100 database queries and 150 DML operations. Developers are forced to create platform-specific architectural solutions that cannot be transferred to another platform.

Regulatory bodies are beginning to respond to the dependency problem. The European Union's Data Act of 2024 introduced requirements to limit egress fees, and Google Cloud became the first major provider to waive data transfer fees for complete migration. However, these initiatives primarily address infrastructure services and do not resolve technical dependency on SaaS platform constraints.

Three strategies exist for overcoming cloud dependency: complete rejection of cloud services with deployment of proprietary infrastructure; responsible cloud usage with open-source technologies such as Kubernetes and PostgreSQL for portability between providers; or conscious acceptance of dependency on a single provider with maximum utilization of its proprietary capabilities.

In conclusion, dependency on cloud computing platforms is a multidimensional problem that combines financial, technical, and organizational aspects. Cloud providers deliberately employ customer retention strategies ranging from free initial tiers and complex pricing models to high egress fees and proprietary technologies. Platforms such as Salesforce further intensify dependency through hidden data storage costs and strict technical constraints of multi-tenant architecture. Awareness of these mechanisms is a necessary

prerequisite for making informed decisions when selecting a cloud platform. A promising direction for further research is the development of architectural methods for transactional resource management that minimize technical dependency on platform constraints [8, 9].

References

1. Gartner. (2024). Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud End-User Spending to Surpass $679 Billion in 2024. Available at: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-cloud-forecast

2. Synergy Research Group. (2024). Cloud Infrastructure Market Share. Available at: https://www.srgresearch.com/articles/cloud-market-growth

3. Amazon Web Services. (2024). AWS Data Transfer Pricing. Available at: https://aws.amazon.com/ec2/pricing/on-demand/

4. Salesforce Negotiations. (2025). Hidden Costs in Salesforce Contracts: Storage, Support, and Other Fees. Available at: https://salesforcenegotiations.com/hidden-costs-in-salesforce-contracts-storage-support-and-other-fees/

5. Maximizer. (2025). Hidden Cost of Salesforce: Know True Cost of Salesforce! Available at: https://www.maximizer.com/blog/the-hidden-costs-of-salesforce/

6. Salesforce. (2024). Salesforce Developer Limits and Allocations Quick Reference. Available at: https://developer.salesforce.com/docs/atlas.en-us.apexcode.meta/apexcode/apex_gov_limits.htm

MODERN APPROACHES TO AUTOMATED WEB APPLICATION TESTING: A COMPARATIVE ANALYSIS OF CYPRESS, SELENIUM, AND PLAYWRIGHT

Krasnokutska Inessa
i.krasnokutska@chnu.edu.ua
PhD, Assosiate Professor of Applied Mathematics and Informational Technologies Department
Dutchak Olha
dutchak.olha.o@chnu.edu.ua
Master Student of Applied Mathematics and Informational Technologies Department
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

This paper presents a comparative analysis of modern automated testing frameworks used for web application testing. The study focuses on Cypress, Selenium, and Playwright. The evaluation is based on criteria such as ease of use, execution speed, flexibility, browser support, and reliability. The analysis demonstrates that each framework has its own strengths and limitations depending on the testing context. Cypress provides a simple and fast development process, Selenium offers wide compatibility and flexibility, while Playwright combines high performance with advanced functionality. The obtained results can help developers select the most appropriate testing tool according to project requirements.

Keywords: automated testing, web application testing, cross-browser testing, software quality assurance, comparative analysis.

Modern software development is characterized by rapid iteration cycles, increasing system complexity, and growing user expectations regarding reliability and performance. In such conditions, ensuring software quality becomes a critical aspect of the development process. One of the key approaches that enables maintaining high standards of quality is software testing, particularly its automated form.

Automated testing has significantly transformed traditional development practices by reducing the time required for repetitive testing tasks and minimizing the probability of human error. It allows

developers to validate functionality continuously throughout the development lifecycle, ensuring early detection of defects and more stable application behavior. At the same time, the diversity of available testing frameworks creates new challenges, as each tool offers different capabilities, architectural approaches, and levels of complexity.

The purpose of this work is to examine and compare several modern automated testing frameworks, focusing on their functionality, usability, performance characteristics, and suitability for different types of software projects.

Despite the rapid evolution of testing tools, selecting an appropriate framework remains a non-trivial task for developers and QA engineers. The main difficulty lies in the fact that no universal solution exists, as each framework is designed with specific priorities in mind. Some tools prioritize simplicity and fast test creation, while others focus on cross-browser compatibility or advanced integration capabilities. As a result, development teams often face trade-offs between ease of use, scalability, execution speed, and learning curve. Therefore, a detailed comparative analysis of popular frameworks is necessary to better understand their practical strengths and limitations.

In this study, three widely used automated testing frameworks were selected for analysis: Cypress, Selenium, and Playwright. These tools represent different generations of testing solutions and illustrate distinct approaches to automated quality assurance.

Cypress. Cypress is a modern testing framework primarily focused on web application testing. It operates directly within the browser environment, which allows for fast execution and immediate feedback during test runs. One of its key advantages is the simplicity of setup, as it requires minimal configuration compared to other tools. Cypress uses JavaScript as its main programming language, which makes it especially convenient for front-end developers. Additionally, its interactive test runner improves debugging and helps visualize test execution in real time.

Selenium. Selenium is one of the oldest and most established frameworks in the field of automated testing. It is widely recognized for its flexibility and strong cross-browser support. Selenium allows

tests to be written in multiple programming languages, including Java, Python, C#, and JavaScript, which makes it highly adaptable to different development environments [1]. However, this flexibility comes with increased complexity. Setting up Selenium-based test environments often requires additional configuration, and writing tests can be more time-consuming compared to newer frameworks. Despite this, Selenium remains a standard choice for large-scale enterprise systems.

Playwright. Playwright is a newer framework developed to address some of the limitations found in earlier tools. It supports multiple browsers such as Chromium, Firefox, and WebKit, and provides a unified API for testing across them [2]. Playwright is designed with modern web applications in mind and offers advanced features such as automatic waiting, network interception, and parallel test execution. These capabilities contribute to higher reliability and faster test execution. Due to its architecture, Playwright is often considered a strong alternative to both Cypress and Selenium [3].

Based on the comparative evaluation, it can be observed that each framework occupies a distinct position. Cypress is optimized for developer experience and speed, Selenium provides maximum flexibility and ecosystem maturity, while Playwright offers a balanced solution that combines modern features with strong performance.

Conclusion. The analysis conducted in this work demonstrates that automated testing frameworks differ significantly in their design principles and intended use cases. No single tool can be considered universally superior, as their effectiveness largely depends on project requirements and development context.

Cypress is particularly suitable for small to medium-sized web projects where fast feedback and ease of use are important. Selenium remains relevant for complex, enterprise-level systems that require broad compatibility and long-term stability. Playwright, on the other hand, represents a modern evolution in testing tools, offering a combination of performance, reliability, and advanced functionality.

Ultimately, the choice of a testing framework should be guided by the technical requirements of the project, the experience level of the development team, and the long-term maintenance strategy.

References

Psujek, M., Radzik, A., & Kozieł, G. *Comparative analysis of solutions used in Automated Testing of Internet Applications*. Journal of Computer Sciences Institute, 18, 7–14, 2021. DOI: https://doi.org/10.35784/jcsi.2373

Pasławski, P., & Pańczyk, M. *Comparison of selected tools for automation testing of Web applications*. Journal of Computer Sciences Institute, 31, 2024. DOI: HYPERLINK "https://doi.org/10.35784/jcsi.6238" \t "_new" https://doi.org/10.35784/jcsi.6238

Gosik, P., & Miłosz, M. *Comparative analysis of Cypress and Playwright frameworks in end-to-end testing for applications based on Angular*. Journal of Computer Sciences Institute, 36, 320–327, 2025. DOI: https://doi.org/10.35784/jcsi.7662

Секція 5. Кібербезпека та захист інформації

Section 5. Cybersecurity and Information Protection

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ DISCORD-СЕРВЕРАМИ

Апопій Георгій Іванович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, студент 4 курсу спеціальності «Комп'ютерні науки», apopii.heorhii@chnu.edu.ua
Готинчан Тетяна Іванівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичного моделювання, t.hotynchan@chnu.edu.ua

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR PROTECTION AND MANAGEMENT OF DISCORD SERVERS

Heorhii Ivanovych Apopii
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 4th-year student of Computer Science, apopii.heorhii@chnu.edu.ua
Tetiana Ivanivna Hotynchan
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD (Candidate of Sciences in Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Mathematical Modeling, t.hotynchan@chnu.edu.ua

This study investigates the development of an intelligent system for automated protection and management of Discord servers. Key infrastructure threats are analyzed. It is established that employing a distributed architecture, real-time monitoring, anomaly detection algorithms based on a sliding window, and automated response mechanisms enhances the effectiveness of protection and incident response.

Keywords: Discord servers, cybersecurity, anomaly detection, event-driven architecture, real-time monitoring

Платформа Discord є однією з найпопулярніших систем для організації онлайн-спільнот, командної взаємодії та комунікації в режимі реального часу. Станом на початок 2026 року платформа Discord має приблизно 656 мільйонів зареєстрованих

користувачів і близько 259–260 мільйонів активних користувачів щомісяця (MAU). Прогноз на кінець 2026 року – понад 300 мільйонів MAU [1]. Водночас зі зростанням кількості користувачів і серверів підвищується рівень загроз інформаційній безпеці. Серед основних загроз – автоматизовані рейди, масове видалення контенту, несанкціоновані зміни ролей і конфігурацій, спроби доступу до адміністративних функцій та інші дії, що порушують цілісність, доступність і стабільність серверної інфраструктури..

Існуючі підходи до захисту Discord-серверів переважно базуються на ручному адмініструванні, використанні окремих ботів модерації або обмежених засобів убудованого моніторингу, що часто вимагає постійної участі адміністраторів системи. Такий підхід може спричиняти затримки у виявленні інцидентів безпеки, збільшувати час реагування на атаки та знижувати загальну ефективність захисних механізмів, особливо в умовах високої динаміки подій.

Метою роботи є розробка комплексної розподіленої інтелектуальної системи автоматизованого захисту та керування Discord-серверами, оснащеної вебінтерфейсом адміністрування, яка забезпечує моніторинг подій у режимі реального часу, гнучке налаштування параметрів безпеки, централізоване керування політиками доступу та оперативне реагування на потенційні загрози.

Розроблена система реалізована з використанням серверного середовища Node.js, вебфреймворку Express.js та системи керування базами даних MongoDB. Для організації двосторонньої передачі даних у режимі реального часу використано технологію WebSocket, що забезпечує миттєву синхронізацію подій між серверною частиною та вебінтерфейсом для моніторингу.

Архітектура програмного комплексу побудована відповідно до принципів Event-Driven Architecture, що дозволяє ефективно обробляти велику кількість одночасних подій, масштабувати систему та забезпечувати її стійкість до навантажень.

У межах реалізованої системи передбачено механізми

автоматичного виявлення аномальної активності, ведення журналів подій безпеки, створення резервних копій критичних конфігурацій, відновлення пошкоджених параметрів серверів, а також систему сповіщень адміністраторів про потенційно небезпечні дії. Запропонований підхід дозволяє мінімізувати людський фактор, скоротити час реагування на інциденти та підвищити загальний рівень безпеки й керованості Discord-інфраструктури.

Ядром розробленої системи є модуль Antinuke, призначений для автоматичного виявлення та нейтралізації потенційно небезпечних дій на Discord-серверах. Модуль реалізує алгоритм виявлення аномальної активності на основі методу ковзного часового вікна. Цей підхід дозволяє ефективно виявляти аномальну поведінку користувачів шляхом аналізу частоти виконання дій за фіксований проміжок часу.

Нехай:

- A_i— дія типу i(створення каналу, видалення ролі тощо);
- t— поточний момент часу;
- w— розмір часового вікна (за замовчуванням 10 секунд);
- L_i— максимально допустима кількість дій типу iза інтервал часу w, яке за замовчуванням становить 10 секунд;
- $N_i(t, w)$— кількість дій типу i, виконаних протягом інтервалу $[t - w, t]$.

Умова виявлення порушення:

$$N_i(t, w) > L_i$$

Функція вибору санкції визначається як:

$$P_i = \begin{cases} kick\,, & \text{якщо } action_i = \text{kick}, \\ ban\,, & \text{якщо } action_i = \text{ban}, \\ removeRoles\,, & \text{якщо } action_i = \text{removeRoles}, \\ \text{warn}\,, & \text{якщо } action_i = \text{"}warn\text{"}. \end{cases}$$

Умова застосування санкції з урахуванням білого списку:

$$Execute(P_i) = \begin{cases} \text{false}, & \text{якщо } user \in W_u \text{ або } role \in W_r, \\ \text{true}, & \text{інакше.} \end{cases}$$

де:

- W_u — множина користувачів, включених до білого списку;
- W_r — множина ролей, включених до білого списку.

У разі перевищення встановленого порогового значення система автоматично ідентифікує потенційне порушення та застосовує до виконавця відповідні санкції, зокрема *kick*, *ban*, *removeRoles* або *warn*, за умови, що користувач не входить до попередньо сформованого білого списку довірених осіб.

Для моніторингу активності система відстежує 10 типів подій платформи Discord, використовуючи поведінковий патерн проєктування Observer. До контрольованих подій належать створення та видалення каналів і ролей, масове блокування користувачів, масові виключення учасників, зміни конфігураційних параметрів сервера, а також маніпуляції з вебхуками та емодзі.

Для забезпечення високої продуктивності та мінімізації часу доступу до оперативних даних у системі реалізовано багаторівневе *in-memory* кешування на основі структур типу *Map*, що забезпечують доступ до даних зі складністю *O(1)*. Завдяки використанню такого підходу система здатна стабільно обробляти до 1000 подій за секунду при середньому споживанні оперативної пам'яті на рівні 180 МБ та навантаженні на центральний процесор у межах 2–8%, що підтверджує ефективність обраних архітектурних і алгоритмічних рішень.

Тестування системи охопило 130+ сценаріїв використання. Час відгуку API становить 45–120 мс (норма < 200 мс), латентність WebSocket 15–30 мс, обробка події Discord 5–15 мс. Uptime за 30 днів тестування становить 99,7%, критичних помилок не виявлено. Порівняно з комерційними аналогами (Wick Bot, Dyno Bot, Mee6) розроблена система забезпечує нижчу латентність API, повне налаштування Antinuke через UI, підтримку української мови.

Список використаних джерел

1. Discord Statistics 2026 (Users, Revenue & Market Share) https://www.demandsage.com/discord-statistics/

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ANDROID-ПРИСТРОЇВ

Бадалян Назарій Гарсеванович
Український державний університет науки і технологій, здобувач кафедри інформаційних систем, nazarbadalan@gmail.com
Ляшенко Оксана Анатоліївна
Український державний університет науки і технологій, завідувач кафедри інформаційних систем, канд.техн.наук, доцент, o.a.liashenko@ust.edu.ua
Радуль Олександр Анатолійович
Український державний університет науки і технологій, асистент кафедри інформаційних систем, канд.техн.наук, o.a.radul@ust.edu.ua

MOBILE APP FOR DETECTING ANOMALOUS ACTIVITY ON ANDROID DEVICES

Badalyan Nazariy Garsevanovich
Ukrainian State University of Science and Technology, Student of the Department of Information Systems, nazarbadalan@gmail.com
Liashenko Oksana Anatoliivna
Ukrainian State University of Science and Technology, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Information Systems, o.a.liashenko@ust.edu.ua
Radul Oleksandr Anatoliyovych
Ukrainian State University of Science and Technology, Ph.D., Assistant of Department of Information Systems, o.a.radul@ust.edu.ua

The SpyDetector app for Android has been developed to detect stalkerware without root access. The system uses 25 heuristic rules (analyzing permissions, behavior, network activity, and signatures) to calculate a customized risk score for each app. The tool is designed for regular users, ensuring transparency in analysis and data privacy.

Keywords: Android, Stalkerware, heuristic analysis, SpyDetector, cybersecurity, risk assessment

Стрімке зростання кількості мобільних пристроїв під управлінням Android (72% світового ринку станом на 2024 р.) супроводжується пропорційним збільшенням загроз інформаційної безпеки. Особливу небезпеку становить шпигунське програмне забезпечення (stalkerware) – клас шкідливих програм, що збирають конфіденційну інформацію без відома користувача: переписку, геолокацію, аудіо- та відеозаписи, банківські дані. За даними Kaspersky Lab, кількість виявлених stalkerware-програм щороку зростає на 35–40%, а реальні цифри є значно вищими через невиявлені зразки. При цьому такі програми навмисно приховують свою присутність: не мають іконки в меню застосунків, маскуються під системні процеси та активуються переважно вночі або в моменти мінімальної активності користувача [1].

Проблема виявлення шкідливого ПЗ на мобільних платформах досліджується в багатьох роботах. Класичний підхід сигнатурного аналізу, що застосовується більшістю антивірусних продуктів, виявляється недостатнім проти нових або цільових загроз, оскільки потребує попередньо відомого зразка шкідливого коду. Поведінковий аналіз дозволяє виявляти загрози за характером дій програми, однак традиційно вимагає привілейованого доступу (root) до системи. Питанням аналізу та усунення вразливостей програмного забезпечення приділялась увага і в дослідженнях вебзастосунків – зокрема, у роботі [2] детально розглянуто методи виявлення слабких місць і засоби протидії атакам на веб-сервери. Ці методологічні підходи до систематизації вразливостей і класифікації загроз були покладені в основу розробки евристичної системи для мобільного середовища.

Існуючі антивірусні рішення для Android мають суттєві обмеження. По-перше, більшість із них орієнтована на виявлення відомих сигнатур, що є неефективним проти нових або цільових загроз. По-друге, глибокий динамічний аналіз вимагає root-прав, недоступних на переважній більшості серійних пристроїв. По-третє, комерційні спеціалізовані інструменти є платними, закритими й не надають користувачу пояснень щодо виявлених

загроз. Нарешті, жоден з доступних безкоштовних інструментів не поєднує одночасно аналіз дозволів, поведінки, мережевої активності та цифрових підписів у єдиній системі оцінювання ризику. Це обумовлює актуальність розробки відкритого евристичного інструменту, що не потребує привілейованого доступу і доступний для пересічних користувачів.

Метою роботи є розробка мобільного застосунку SpyDetector для платформи Android, що виявляє потенційно небезпечні застосунки шляхом комплексного евристичного аналізу без root-прав та надає користувачу зрозумілі пояснення виявлених ризиків.

Застосунок реалізовано мовою Java для Android (minSdk 26, цільовий SDK 34). Архітектура системи є багатошаровою та включає чотири основні підсистеми. Підсистема збору даних (Collectors) відповідає за отримання інформації від системних API: PackageManager, UsageStatsManager, TrafficStats, BatteryManager та системи дозволів. Підсистема аналізу (Analyzers) реалізує набір евристичних правил та обчислює ризик-скор для кожного застосунку. Ядро обробки (Core) координує роботу колекторів та аналізаторів, управляє чергою перевірок і забезпечує збереження результатів. Підсистема представлення (UI) відображає результати аналізу в зрозумілому для користувача вигляді з детальними поясненнями кожного виявленого порушення. Фоновий моніторинг здійснюється через foreground-сервіс з інтервалом 15 хвилин, що забезпечує своєчасне виявлення нових загроз без значного навантаження на акумулятор пристрою.

Система реалізує 25 евристичних правил шести категорій, кожна з яких аналізує окремий аспект поведінки застосунку. Категорія SPY (правила SPY_01–SPY_05) виявляє застосунки без launcher activity, що використовують Accessibility Service або мають доступ до мікрофону/камери у прихованому стані – саме такий патерн є характерним для stalkerware. Категорія PERM (PERM_01–PERM_05) аналізує небезпечні комбінації дозволів: наприклад, одночасний доступ до мікрофону та геолокації у застосунку без видимого UI є сильним індикатором шпигунської

активності. Категорія USAGE (USAGE_00–USAGE_04) виявляє аномальні патерни використання через UsageStats API – часті запуски, нічну активність, фоновий запуск без foreground-взаємодії з користувачем. Категорія NET (NET_00–NET_03) перевіряє мережеву активність через TrafficStats API та звіряє пакети із базою відомих шкідливих ідентифікаторів. Категорія BAT (BAT_01–BAT_03) виявляє аномальне споживання ресурсів прихованими застосунками. Категорія SIG (SIG_01–SIG_04) аналізує цифрові підписи APK через X.509-сертифікати: наявність самопідписаного сертифіката у поєднанні з маскуванням пакету під системні процеси є характерною ознакою шкідливого ПЗ [3].

Кожне правило має ваговий коефіцієнт – scoreContribution, що відображає його діагностичну цінність. Загальний ризик-скор обчислюється за формулою $S = \min(100, \Sigma(w_i \times a_i))$, де w_i – ваговий коефіцієнт і-го правила, a_i – бінарна змінна (1, якщо правило спрацювало). Рівень небезпеки класифікується на чотири категорії: LOW (0–19), MEDIUM (20–44), HIGH (45–69), CRITICAL (70–100). Функція min(100, ...) обмежує максимальне значення скору, що дозволяє уникнути артефактів при одночасному спрацюванні великої кількості корельованих правил.

Ваги правил встановлено емпірично на основі аналізу реальних зразків шпигунського ПЗ та з урахуванням частоти виявлених порушень у різних категоріях. Правила категорії SPY мають найвищі вагові коефіцієнти (15–25 балів), оскільки їх спрацьовування найбільш однозначно вказує на шпигунську природу застосунку. Правила категорій PERM та NET мають середні ваги (8–15 балів), а правила USAGE та BAT – нижчі (5–10 балів), оскільки аномальне споживання ресурсів або нетипова активність можуть бути властиві також легітимним застосункам. Правила категорії SIG відіграють допоміжну роль і мають ваги 5–12 балів.

Тестування системи проводилося з використанням спеціально розробленого застосунку SpySimulator, що імітує поведінку шпигунського ПЗ: прихована установка без іконки,

небезпечні дозволи (RECORD_AUDIO, CAMERA, ACCESS_FINE_LOCATION, READ_SMS, READ_CONTACTS), фонова мережева активність та самопідписний debug-сертифікат. За результатами тестування SpyDetector виявив 11 з 19 автоматично відтворюваних аномалій – спрацювали правила SPY_01, SPY_03, SPY_04, PERM_01–PERM_05, USAGE_00, SIG_01, SIG_04, – досягши ризик-скору 100/100 (CRITICAL). Вісім правил не спрацювали через обмеження Android щодо доступу до певних API без root-прав, що є відомим компромісом між безпекою системи та можливостями інструментів аналізу.

Оцінка якості класифікації проводилась на наборі з 16 реальних застосунків: 15 легітимних (браузери, месенджери, системні утиліти) та 1 спеціально створений зразок для імітації поведінки шпигунського ПЗ. Детектор коректно ідентифікував тестовий зразок як підозрілий, виявивши 11 аномальних подій. Precision = 1.0, Recall = 1.0, F1-score = 1.0. Слід зазначити, що вибірка є обмеженою, тому результати носять демонстраційний характер і не претендують на статистичну узагальненість. Хибнопозитивні результати (False Positive) можуть виникати для легітимних застосунків з широким набором дозволів – месенджерів та камер, що мають доступ до мікрофону, геолокації та камери одночасно. Для зниження хибнопозитивних результатів реалізовано механізм whitelist, що дозволяє користувачу вручну довіряти перевіреним застосункам.

Порівняно з аналогічними рішеннями, SpyDetector вирізняється декількома ключовими характеристиками. На відміну від більшості антивірусних застосунків, що обмежуються сигнатурним аналізом, SpyDetector використовує поведінковий підхід, здатний виявляти раніше невідомі загрози. На відміну від інструментів для фахівців з кібербезпеки (наприклад, ADB-based утиліт), застосунок не потребує технічних знань і root-доступу. На відміну від комерційних продуктів, SpyDetector є прозорим: він пояснює кожну виявлену загрозу зрозумілою мовою, надає конкретні рекомендації щодо дій та не передає жодних даних до хмарних сервісів. Методологія аналізу вразливостей, розроблена для вебсередовища [2], знайшла нове застосування в мобільному

контексті: систематизація класів загроз та принципи оцінювання ризику були адаптовані для специфіки Android-екосистеми.

Практична цінність розробки полягає у тому, що SpyDetector надає пересічним користувачам Android доступний безкоштовний інструмент самозахисту від стеження. Перспективами подальшого розвитку є: інтеграція методів машинного навчання на основі підходу DREBIN [4] для підвищення точності класифікації; розширення бази відомих шкідливих пакетів та автоматичне оновлення правил через сервер конфігурації; підтримка аналізу APK-файлів до їх встановлення; публікація застосунку у відкритому доступі для незалежного аудиту безпеки коду.

Список використаних джерел

1. Kaspersky Lab. State of Stalkerware 2023. URL: https://www.kaspersky.com/about/press-releases/2023_state-of-stalkerware-2023.

2. Щербина О. В., Ляшенко О. А. Аналіз та засоби усунення вразливостей веб-сайтів // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2018): матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 1-2 листопада 2018 року). – Дніпро: Баланс-клуб, 2018. – С. 421-422. http://doi.org/10.32434/CMOCS-2018

3. Android Developer Documentation. UsageStatsManager. URL: https://developer.android.com/reference/android/app/usage/UsageStatsManager

4. Arp D. et al. DREBIN: Effective and Explainable Detection of Android Malware in Your Pocket // Proceedings NDSS 2014.

РЕАЛІЗАЦІЯ ІЗОЛЯЦІЇ ДАНИХ У ВЕБЗАСТОСУНКАХ НА LARAVEL І POSTGRESQL

Бодяк Віталій Олегович
Луцький національний технічний університет, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, vitalii.bodiak@gmail.com
Повстяна Соломія
Політехнічний інститут Браганси, Управління міжнародним бізнесом, студентка, solomiapovstiana@gmail.com

IMPLEMENTING DATA ISOLATION IN WEB APPLICATIONS USING LARAVEL AND POSTGRESQL

Bodiak Vitalii Olegovich
Lutsk National Technical University, the 2nd (master's) level of higher education applicant, vitalii.bodiak@gmail.com
Povstiana Solomiia
Instituto Politécnico De Bragança, International Business Management, student, solomiapovstiana@gmail.com

The paper examines data isolation approaches in multi-tenant web applications using Laravel and PostgreSQL. It analyzes physical and logical isolation methods, with a focus on shared schema implementation. Special attention is given to combining application-level controls with PostgreSQL Row-Level Security to enhance data protection, performance, and system reliability.

Keywords: multi-tenancy, data isolation, Laravel, PostgreSQL, Row-Level Security, shared schema, SaaS, information security, web application, access control.

Розмежування даних є важливою складовою при створенні мультиорендних додатків. Ізолювання може бути реалізовано як фізично, так і на рівні програмного коду. При створенні SaaS платформ використовуються різні підходи до розмежування даних, і вибір конкретного методу залежить від апаратних та

фінансових можливостей постачальників послуг [1].

Найбільш дорожчим методом для розмежування даних є створення окремих баз даних для кожного замовника. Цей спосіб є найбезпечнішим, оскільки забезпечує повну фізичну ізоляцію даних. Але це призводить до того, що при появі нового функціоналу його необхідно розгортати та синхронізувати окремо для кожної бази даних. Це ускладнює процес міграцій, підвищує ризик розсинхронізації схем, збільшує витрати на підтримку та інфраструктуру, а також суттєво знижує швидкість доставки змін.

Іншим поширеним методом є застосування спільної схеми бази даних (shared schema), де усі замовники зберігаються в однакових таблицях, а розмежування досягається завдяки додатковому полю, наприклад tenant_id. Такий підхід дає змогу значно знизити витрати на інфраструктуру та полегшити супровід, оскільки усі зміни виконуються централізовано. Водночас він вимагає пильного контролю доступу на рівні запитів і збільшує небезпеку витоку даних у разі хиб у бізнес-логіці [2].

У контексті використання фреймворку Laravel та СУБД PostgreSQL підхід shared schema може бути реалізований із застосуванням як механізмів на рівні застосунку, так і на рівні бази даних. На стороні Laravel розмежування даних зазвичай досягається через використання глобальних скоупів Eloquent, middleware та визначення tenant-контексту, наприклад за допомогою пакета stancl/tenancy [3]. Це дозволяє автоматично обмежувати всі запити до бази даних лише даними конкретного замовника без необхідності явного додавання умов у кожному запиті.

Проте ізоляція виключно на рівні застосунку не гарантує повної безпеки, оскільки будь-яка помилка в коді або використання сирих SQL-запитів може призвести до обходу встановлених обмежень. У зв’язку з цим доцільно застосовувати

додаткові механізми на рівні бази даних. Зокрема, PostgreSQL підтримує технологію Row-Level Security, яка дозволяє визначати політики доступу до рядків таблиць [4].

Row-Level Security забезпечує автоматичну фільтрацію даних на рівні СУБД відповідно до встановлених правил. У типовій реалізації застосунок встановлює значення поточного tenant_id у контексті з'єднання з базою даних, після чого політики доступу перевіряють відповідність цього значення з tenant_id у таблицях. Таким чином, навіть у разі помилки на рівні Laravel, база даних не дозволить отримати або змінити дані іншого замовника.

Для підвищення надійності та керованості такої архітектури доцільно враховувати додаткові аспекти реалізації ізоляції даних.

Одним із ключових елементів є правильна передача tenant-контексту з рівня застосунку до бази даних. У випадку PostgreSQL це зазвичай реалізується через встановлення сесійної змінної наприклад, за допомогою SET або set_config(), яка використовується в політиках Row-Level Security. Це дозволяє уникнути передачі tenant_id у кожному запиті вручну та централізувати механізм контролю доступу.

Важливу роль відіграє також індексація. Оскільки всі дані різних орендарів зберігаються в одних таблицях, поле tenant_id повинно бути включене до індексів, особливо у великих таблицях. Це дозволяє уникнути повних сканувань таблиць і забезпечує прийнятний рівень продуктивності навіть при значному зростанні кількості клієнтів.

Також важливо покривати функціонал тестами, оскільки помилки можуть або обмежити доступ до власних даних, або навпаки відкрити доступ до чужих. Тому необхідно покривати критичні сценарії інтеграційними тестами, які перевіряють коректність ізоляції.

Реалізація ізоляції даних у мультиорендних вебзастосунках на основі shared schema з використанням Laravel та PostgreSQL

дозволяє досягти балансу між ефективністю використання ресурсів і рівнем безпеки. Поєднання механізмів на рівні застосунку з можливостями Row-Level Security забезпечує додатковий рівень захисту та знижує ризик витоку даних.

Список використаних джерел

1. Amazon Web Services. SaaS Architecture Fundamentals. URL: https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/saas-architecture-fundamentals/welcome.html (дата звернення: 25.04.2026).

2. Microsoft. Multitenant data architecture. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/multitenant/overview (дата звернення: 25.04.2026).

3. stancl/tenancy. Documentation. URL: https://tenancyforlaravel.com/ (дата звернення: 01.05.2026).

4. PostgreSQL. Row-Level Security. URL: https://www.postgresql.org/docs/current/ddl-rowsecurity.html (дата звернення: 01.05.2026).

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ШИФРУВАННЯ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Бойко Лев Степанович
Луцький національний технічний університет, к.т.н, доцент,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
l.boyko@gmail.com
Мартинюк Наталія Ярославівна
Луцький національний технічний університет, бакалавр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
natalkamartinuk55@gmail.com
Мороз Ірина Леонідівна
Луцький національний технічний університет, бакалавр,
Кафедра інженерії програмного забезпечення,
morozirina941@gmail.com

ANALYSIS OF DATA ENCRYPTION APPROACHES IN MODERN INFORMATION SYSTEMS

Boiko Lev Stepanovych
Lutsk National Technical University, PhD,
Department of Software Engineering, l.boyko @gmail.com
Martyniuk Natalia Yaroslavivna
Lutsk National Technical University, bachelor,
Department of Software Engineering,
natalkamartinuk55@gmail.com
Moroz Iryna Leonidivna
Lutsk National Technical University, bachelor,
Department of Software Engineering, morozirina941@gmail.com

The paper analyses approaches to ensuring data confidentiality in modern information systems. Different encryption models, including encryption in transit, encryption at rest and client-side encryption, are considered. The use of modern cryptographic algorithms for key derivation and authenticated encryption is described. The proposed approach allows improving data security and reducing risks of unauthorized access.

Keywords: data encryption, information security, client-side

encryption, AES-GCM, Argon2id, data protection.

Сучасні інформаційні системи обробляють значні обсяги конфіденційних даних, що зумовлює необхідність застосування ефективних механізмів їх захисту. До таких даних належать персональна інформація користувачів, службові дані, фінансова інформація та інші чутливі ресурси, несанкціонований доступ до яких може призвести до суттєвих ризиків.

Одним із базових підходів до забезпечення конфіденційності є використання криптографічних методів шифрування [1]. Шифрування дозволяє перетворити відкриті дані у форму, недоступну для розуміння без відповідного ключа, що забезпечує захист інформації як під час передачі, так і під час зберігання [2].

У сучасних системах застосовуються різні моделі шифрування. Encryption in transit використовується для захисту даних під час передачі мережею, тоді як encryption at rest забезпечує захист інформації, що зберігається у базах даних або файлових системах [3]. Однак обидва підходи не гарантують повного захисту у випадку компрометації серверної інфраструктури.

Альтернативним підходом є client-side encryption, при якому дані шифруються безпосередньо на стороні клієнта до їх передачі на сервер. У цьому випадку сервер зберігає лише зашифрований вміст і не має доступу до відкритого тексту, що значно підвищує рівень конфіденційності [4].

Для реалізації надійного шифрування важливим є правильний вибір криптографічних алгоритмів. Для деривації ключів широко використовуються функції, стійкі до атак перебором, зокрема Argon2id, який враховує як обчислювальну складність, так і використання пам’яті. Це ускладнює здійснення атак із використанням спеціалізованого обладнання [5].

Для безпосереднього шифрування даних застосовуються симетричні алгоритми, одним із найбільш поширених серед яких є AES у режимі Galois/Counter Mode (AES-GCM). Даний режим забезпечує не лише конфіденційність, але й цілісність даних за

рахунок використання автентифікаційного тегу [2].

Використання унікального nonce для кожної операції шифрування дозволяє уникнути повторного використання однакових параметрів, що є критично важливим для забезпечення криптостійкості системи. У результаті формується набір даних, який включає ciphertext, nonce та auth tag.

У межах реалізації програмних систем із підвищеними вимогами до безпеки доцільним є поєднання client-side encryption із сучасними алгоритмами деривації ключів та автентифікованого шифрування. Такий підхід дозволяє забезпечити захист даних навіть у разі компрометації серверної частини системи.

Список використаних джерел

1. OWASP. Cryptographic Storage Cheat Sheet. https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/Cryptographic_Storage_Cheat_Sheet.html (дата звернення 29.04.2026)

2. NIST. Recommendation for Block Cipher Modes of Operation(GCM).https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-38d.pdf (дата звернення 29.04.2026)

3. Google Cloud. Encryption at rest. https://cloud.google.com/docs/security/encryption/default-encryption (дата звернення 01.05.2026)

4. Cloudflare. What is End-to-End Encryption? https://www.cloudflare.com/learning/privacy/what-is-end-to-end-encryption/ (дата звернення 01.05.2026)

5. Biryukov A., Dinu D., Khovratovich D. Argon2: the memory-hard function for password hashing. https://github.com/P-H-C/phc-winner-argon2 (дата звернення 02.05.2026)

ЗАХИСТ ПЕРИМЕТРУ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ CISCO

Вовк Петро Богданович
Відокремлений структурний підрозділ "Технічний фаховий коледж Луцького НТУ", викладач спецдисциплін
wowkpetro@gmail.com

CORPORATE NETWORK PERIMETER PROTECTION BASED ON CISCO EQUIPMENT

Vovk Petro Bogdanovich
Technical Applied College of Lutsk National Technical University, teacher of special disciplines, wowkpetro@gmail.com

The paper presents the design and evaluation of a Cisco-based network perimeter security subsystem. The proposed architecture integrates firewalls, screening routers, VLAN segmentation, NAT, ACL, and IPSec VPN. A security policy was developed and implemented in a modeled multi-office infrastructure with a DMZ. Testing confirmed effective protection against common external threats and secure inter-office communication.

Keywords: perimeter security, network infrastructure, Cisco, firewall, screening router, VLAN, NAT, ACL, IPSec VPN, DMZ, cybersecurity, information security policy

Сучасний інформаційний простір характеризується високою щільністю цифрових взаємодій: електронна пошта, онлайн-сервіси, хмарні платформи, дистанційна робота й електронна комерція формують середовище, де дані циркулюють безперервно й у великих обсягах. Значна частина цієї інформації є конфіденційною або комерційно чутливою, тому будь-які порушення безпеки мережі перетворюються на прямі фінансові втрати, репутаційні удари та зупинки критичних процесів. З огляду на зростання складності атак (DDoS, ботнети, автоматизоване сканування, експлойти, соціальна інженерія, шкідливе ПЗ) організація периметрового захисту виступає базовим компонентом загальної стратегії кіберзахисту.

Мережевий периметр розуміється як фізична й логічна межа між внутрішньою корпоративною мережею та зовнішнім середовищем (переважно Інтернетом). У класичній моделі існує чітке розділення на «довірену» внутрішню зону та «недовірену» зовнішню. У сучасних умовах (VPN, віддалена робота, мобільні пристрої, хмара) периметр стає більш «рухомим» і розмитим, але не втрачає значення: контрольованими мають бути всі точки виходу/входу трафіку (маршрутизатори, міжмережеві екрани, шлюзи). Ключові завдання периметра полягають у розмежуванні зон, фільтрації трафіку, запобіганні несанкціонованому доступу, контролі публічних сервісів, виявленні атак, веденні журналів і моніторингу подій.

Загрози для мережі включають не лише «класичний» злам, а й відмови обладнання, помилки ПЗ, витоки через конфігураційні помилки, людський фактор та недотримання процедур. Несанкціонований доступ реалізується або через фізичний контакт з компонентами, або віддалено через Інтернет. Підсистема периметрового захисту має підтримувати фундаментальні принципи CIA-тріади: конфіденційність (обмеження доступу), цілісність (захист від модифікації трафіку/даних), доступність (протидія атакам відмови в обслуговуванні). Для побудови реального захисту застосовують сукупність технічних, програмних, програмно-апаратних і організаційних заходів, що формують багаторівневу концепцію Defense in Depth.

Міжмережеве екранування виступає «першою лінією оборони», яка перевіряє будь-який трафік, що перетинає межу між внутрішньою мережею та зовнішнім середовищем. Міжмережевий екран реалізує примусове застосування політики безпеки: дозволяє лише те, що явно визначено правилами. Центральним механізмом є ACL – упорядкований набір правил, де важливі напрямок (in/out), IP-адреси, протоколи, порти, а також порядок правил. Логіка «перший збіг – перше рішення» робить порядок критичним, а неявна заборона наприкінці списку підсилює принцип мінімально необхідних дозволів.

Еволюційним розвитком ACL став stateful inspection: фільтрація не «пакет-по-пакету», а з урахуванням стану з'єднання. Міжмережевий екран веде таблицю станів, пропускаючи лише пакети, що належать до легітимно встановленого сеансу. У порівнянні з ACL це суттєво знижує ризики підміни, некоректних відповідей та примітивних обходів правил. Сучасний периметр дедалі частіше спирається на NGFW, який додає аналіз прикладного рівня, інтеграцію IDS/IPS, ідентифікацію застосунків та контекстні політики. Важливим елементом архітектури є DMZ – ізольований сегмент для публічних сервісів, який зменшує наслідки компрометації веб/поштових/ DNS-сервісів, обмежуючи їхній доступ до внутрішніх ресурсів.

Cisco пропонує екосистему рішень для периметра: маршрутизатори Cisco IOS, міжмережеві екрани Cisco ASA, платформи NGFW Cisco Firepower/Secure Firewall, комутатори Catalyst для рівня доступу. Маршрутизатори Cisco забезпечують базовий контроль доступу через ACL, підтримують NAT, VPN, динамічну маршрутизацію та механізми резервування. Однак їхня «природна» роль – маршрутизація, тому функції безпеки потребують свідомого й детального налаштування.

Cisco ASA як спеціалізований пристрій безпеки реалізує принцип «заборонено все, що не дозволено», підтримує stateful inspection, зонування інтерфейсів, гнучкі правила NAT, DMZ, режими failover і, за потреби, multiple context. NGFW-рішення Cisco Firepower розширює класичний firewall глибокою інспекцією пакетів, IDS/IPS, прикладною ідентифікацією та політиками, що враховують користувачів і сценарії використання. На рівні доступу комутатори Catalyst 2960 забезпечують VLAN, trunk 802.1Q, агрегацію каналів, PoE та базові механізми захисту доступу.

Політика безпеки трактується як нормативна «основа», яка визначає дозволені взаємодії, механізми реалізації правил і порядок контролю змін. Вона включає два рівні: рівень доступу (що дозволено й кому) та рівень реалізації (як саме це забезпечується технологіями ACL / NAT / DMZ / VPN /

журналювання). Базовою стратегією обрано «заборонено все, що не дозволено», що зменшує площу атаки та підсилює принцип мінімально необхідних привілеїв.

Політика передбачає сегментацію VLAN, блокування прямих входів із зовнішнього середовища до внутрішніх підмереж, відкриття ззовні лише сервісів у DMZ, контроль і обмеження доступу до підмережі принтерів, захищене адміністрування, захищену міжофісну взаємодію через VPN та постійне журналювання/моніторинг.

Порівняльно найстійкіша модель – дворівнева схема (маршрутизатор + ASA), але вона потребує резервних каналів до провайдера, інакше вихід із ладу першої лінії може порушити доступність. Резервована ASA-пара підсилює доступність при відмовах, але бажано уникати залежності від одного комутатора на вході. Найдешевший варіант (лише маршрутизатор) вимогливий до кваліфікації адміністратора: помилки в ACL/NAT можуть створити небезпечні «вікна» доступу.

Тестування мережі на проникнення розглядається як прикладний аудит: потрібно підтвердити працездатність мережі й одночасно довести виконання політики безпеки. Логіка тестів «від базового до складного»: перевірка адресації, маршрутизації, доступності сервісів; далі – перевірка блокування зайвих потоків; потім – імітація дій порушника (сканування, перевірка відкритих портів, спроби обходу ACL, оцінка журналювання). Тести мають бути відтворюваними, з фіксацією результатів у вигляді скриншотів, логів та артефактів.

Список використаних джерел

1. Костюк Ю. В., Складанний П.М. Захист інформації в комп'ютерних системах та мережах. Частина І: підручник / Ю.В. Костюк, П.М. Складанний. – Київ : Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, 2026. – 401 с.

2. Злом і захист локальної мережі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pro-computer.pp.ua/3085-zlom-zahist-lokalnoyi-merezh.html

СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ IoT-ПРИСТРОЇВ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗАХИСТУ

Грезіна Олена Миколаївна
Одеський державний університет внутрішніх справ, доцент кафедри кримінального аналізу та інформаційних технологій, доктор філософії в галузі права, магістр системного аналізу
ehrezina@gmail.com
Пядишев Володимир Георгійович
Одеського державного університету внутрішніх справ, професор кафедри кримінального аналізу та інформаційних технологій, доктор юридичних наук, професор
piadyshev@ukr.net

MODERN CHALLENGES IN ENSURING THE SECURITY OF IOT DEVICES AND METHODS OF THEIR PROTECTION

Hrezina Olena
Assistant Professor of the Department of Criminal Analysis and Information Technologies, Doctor of Philosophy in Law**,** Master of Systems Analysis, Odesa State University of Internal Affairs
ehrezina@gmail.com
Piadyshev Volodymyr
Doctor of Law, Professor, Professor of the Department of Criminal Analysis and Information Technology, Odesa State University of Internal Affairs, piadyshev@ukr.net

The paper examines current cybersecurity challenges in IoT ecosystems caused by the rapid growth of connected devices and the heterogeneity of network architectures. Particular attention is paid to vulnerabilities of IoT devices, including insecure protocols, firmware weaknesses, and supply chain attacks. The study analyzes modern protection approaches based on Zero Trust Architecture, blockchain technologies, and artificial intelligence methods for adaptive threat detection and prevention.

Keywords: Internet of Things, IoT security, cybersecurity, Zero Trust Architecture, blockchain, artificial intelligence, machine learning, cyber threats, intrusion detection, network security.

Стрімке поширення пристроїв Інтернету речей (IoT)

кардинально змінює архітектуру сучасного цифрового простору. За оцінками аналітиків IoT Analytics, загальна кількість підключених пристроїв у 2024-2025 роках наближається до 18–21 мільярда одиниць, а до 2030 року прогнозується перевищення позначки у 30 мільярдів [1; 2]. Такий масштаб проникнення IoT-технологій у критичну інфраструктуру, охорону здоров'я, промислове виробництво та побутове середовище формує якісно нові виклики для кібербезпеки. Різноманітність апаратних платформ, обмеженість обчислювальних ресурсів та відсутність єдиних стандартів безпеки роблять ці пристрої особливо вразливими мішенями для зловмисників. Середня вартість одного IoT-інциденту безпеки становить щонайменше 330 000 доларів США, тоді як у медичній сфері компрометація пристроїв класу IoT може коштувати понад 10 мільйонів доларів [3].

Основна проблема полягає в тому, що більшість виробників IoT-пристроїв традиційно розглядали безпеку як вторинну функцію, жертвуючи нею заради зниження собівартості та прискорення виходу на ринок. За даними галузевих досліджень 2025 року, понад 80% IoT-зломів починається на рівні самого пристрою, однак виявити компрометацію можна виключно на мережевому рівні — оскільки більшість вбудованих систем не здатна виконувати агентне програмне забезпечення безпеки [3]. Серед найбільш критичних вразливостей виділяються: використання стандартних або незашифрованих облікових даних, відсутність механізмів безпечного оновлення прошивки, незахищені мережеві протоколи, а також наявність недокументованих «задніх дверей» (backdoors), закладених на етапі виробництва. Дослідження, проведені в рамках огляду безпеки IoT-мереж у 2025 році, систематизують загрози на трьох рівнях — сприйняття, мережевому та прикладному — і вказують на зростаючу небезпеку атак на ланцюжок постачання, зокрема зловмисне програмне забезпечення BadBox 2.0, яке скомпрометувало понад 10 мільйонів пристроїв [2].

Реакція наукової спільноти та технологічної галузі на ці виклики концентрується навколо кількох магістральних підходів. Перший з них — архітектура нульової довіри (Zero Trust Architecture, ZTA), яка передбачає повну відмову від периметральних моделей захисту та запровадження принципу перевірки кожного пристрою і кожного запиту незалежно від його

походження. Дослідження, опубліковані у 2025 році в журналі PMC, підтверджують, що модель нульової довіри має значний потенціал для захисту IoT-середовищ, оскільки вона не покладається на стан мережного оточення, а будується на верифікації ідентичності та поведінки [5]. Особливо перспективним є поєднання ZTA з технологією блокчейн: у рамках таких гібридних архітектур смарт-контракти використовуються для автентифікації вузлів, а незмінний розподілений реєстр забезпечує цілісність даних у промислових IoT-мережах. Роботи Salim та ін. (2025) і Asaithambi та ін. (2025) демонструють, що фреймворки на основі блокчейн та ZTA здатні значно знизити ризик атак зсередини мережі, де попередньо автентифіковані пристрої компрометуються для отримання несанкціонованого доступу [4; 6].

Другий перспективний напрям — застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для виявлення аномалій і кіберзагроз у реальному часі. Огляд AI-Enabled IoT Security, представлений на конференції CISAI 2025, систематизує досягнення у використанні методів глибокого навчання, навчання з підкріпленням та федеративного навчання для виявлення загроз на всіх рівнях IoT-архітектури [7]. Ключовою перевагою федеративного навчання є можливість навчати моделі виявлення вторгнень безпосередньо на пристроях без централізованої передачі чутливих даних, що вирішує одночасно як проблему безпеки, так і конфіденційності. Разом з тим дослідники вказують на суттєві обмеження: проблеми якості навчальних даних, обмеженість обчислювальних ресурсів на кінцевих пристроях, а також необхідність забезпечення інтерпретованості (Explainable AI) моделей у критичних застосуваннях [7; 9].

Третій напрям — вдосконалення протоколів та стандартів безпеки з урахуванням гетерогенності IoT-екосистем. Огляд поточних протоколів безпеки IoT у журналі ScienceDirect (2025) констатує, що складність екосистеми суттєво зростає внаслідок одночасного функціонування однорідних і гетерогенних пристроїв з різними можливостями і протоколами зв'язку. Блокчейн-технологія розглядається у цьому контексті не лише як засіб зберігання даних, а й як інструмент підвищення довіри між учасниками IoT-мережі через механізм незмінності підтвердженої інформації. Паралельно дедалі більшої

актуальності набувають квантово-стійка криптографія і підходи на основі атрибутного контролю доступу (ABAC), особливо в контексті прогнозованого появи квантових обчислювальних потужностей, здатних зламати існуючі асиметричні схеми шифрування [9].

Нормативно-правовий вимір проблеми набуває особливого значення в умовах стрімкого зростання кіберзагроз. Регламент ЄС «Про кіберстійкість» (Cyber Resilience Act, CRA), що набув чинності 10 грудня 2024 року, запроваджує обов'язкові вимоги кібербезпеки для виробників усіх продуктів з цифровими елементами, що реалізуються на ринку ЄС. Основні зобов'язання регламенту набудуть повної чинності 11 грудня 2027 року, однак зобов'язання щодо звітності запрацюють вже з 11 вересня 2026 року [8]. CRA покладає на виробників відповідальність за безпеку протягом всього життєвого циклу продукту — від проектування до завершення підтримки — і вимагає щонайменше п'ятирічного забезпечення оновлень безпеки. Відповідно до Делегованого регламенту ЄС 2025/2392, підписаного у листопаді 2025 року, визначено технічні описи категорій важливих і критичних продуктів, що підлягають посиленій оцінці відповідності, зокрема смарт-лічильники та промислові контролери. Штрафні санкції за порушення CRA можуть сягати 15 млн євро або 2,5% світового обороту компанії [8].

Аналіз сучасного стану безпеки IoT-пристроїв свідчить про те, що жодний з перелічених підходів не є самодостатнім. Ефективний захист потребує комплексної стратегії, яка інтегрує принципи «безпека за проектом» (security-by-design), безперервний моніторинг мережевого трафіку як основний метод виявлення компрометації, гібридні архітектури на основі ZTA та блокчейну, а також застосування штучного інтелекту для адаптивного реагування на загрози. При цьому критично важливою залишається регуляторна підтримка: дослідження Beecham Research 2025 року показує, що 95% фахівців галузі вважають безпеку IoT «важливою» або «надзвичайно важливою», а 77% уже мають або розробляють відповідну систему управління безпекою [2]. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою легковагових моделей штучного інтелекту для ресурсно-обмежених пристроїв, стандартизацією механізмів безпечного оновлення прошивки та формуванням міжнародних

рамок управління вразливостями в IoT-екосистемах.

Список використаних джерел

1. Trung D. V., Minh N. D., Hoang T. N. B., Son D. T. A. Cybersecurity Threats and Defense Mechanisms in IoT Networks. arXiv. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2601.00556 .

2. Vectra AI. IoT Security in 2026: Threats, Risks, and Best Practices. Vectra AI Topics. 2025–2026. URL: https://www.vectra.ai/topics/iot-security .

3. IIoT World. IoT Cybersecurity Challenges and Policy Priorities for 2025. IIoT-World.com. 2025. URL: https://www.iiot-world.com/ics-security/cybersecurity/iot-cybersecurity-challenges-2025/ .

4. Asaithambi S., Nallusamy S., Yang J. et al. A Secure and Trustworthy Blockchain-Assisted Edge Computing Architecture for Industrial Internet of Things. Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Art. 15410. DOI: 10.1038/s41598-025-00337-3

5. Pathak A., Fathy E. Security Importance of Edge-IoT Ecosystem: An ECC-based Authentication Scheme. PLoS ONE. 2025. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12136312/ .

6. Salim M. M., Kim M., Singh S. K., Park J. H. Zero-Trust Blockchain-Enabled Framework for Scalable and Secure IoT Networks. Future Generation Computer Systems. 2025. DOI: 10.1016/j.future.2025.108093.

7. Yang L. et al. AI-Enabled IoT Security: A Survey on Advances, Challenges, and Cross-Domain Collaborative Frameworks. Proceedings of the 2025 8th International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence (CISAI 2025). New York: ACM, 2025. DOI: 10.1145/3773365.3773619.

8. European Commission. Regulation (EU) 2024/2847 on Horizontal Cybersecurity Requirements for Products with Digital Elements (Cyber Resilience Act). Official Journal of the EU. 2024. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cyber-resilience-act .

9. Kaya C. et al. Security and Privacy in the Internet of Everything (IoE): A Review on Blockchain, Edge Computing, AI, and Quantum-Resilient Solutions. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 15. Art. 8704. DOI: 10.3390/app15158704.

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ З БАГАТОФАКТОРНОЮ АВТЕНТИФІКАЦІЄЮ

Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Конкевич Людмила Миколаївна
Луцький національний технічний університет,
асистент кафедри кібербезпеки, k.liudmilka@lutsk-ntu.com.ua
Трофімчук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет
здобувач 2-го курсу за спеціальністю «Кібербезпека»

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF ACCESS CONTROL WITH MULTI-FACTOR AUTHENTICATION

Hryniuk Serhii
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Konkevych Lyudmila
Lutsk National Technical University,
Assistant of the Department of Cybersecurity,
k.liudmilka@lutsk-ntu.com.ua
Trofimchuk Andriy
Lutsk National Technical University,
student second year in the specialty «Cybersecurity»

The abstracts consider a hardware-software complex of access control with multifactor authentication as an element of cyber protection of information resources, server rooms, laboratories and automated systems. The structure of the complex is proposed, combining RFID/NFC identification, PIN code, biometric module, software verification of access rights and event logging. It is shown that the use of several independent authentication factors reduces the risk of unauthorized access in case of card loss, password compromise or user substitution attempt.

Keywords: cybersecurity, access control, multifactor

authentication, RFID, NFC, biometrics, PIN code, event logging, information protection.

У сучасних умовах контроль доступу є не лише засобом фізичного обмеження проходу до приміщення, а й важливою складовою кібербезпеки. Доступ до серверних кімнат, лабораторій, мережевого обладнання, робочих станцій адміністраторів і сховищ даних безпосередньо впливає на конфіденційність, цілісність і доступність інформації. Якщо зловмисник отримує фізичний доступ до критичної інфраструктури, він може підключити сторонній пристрій, змінити конфігурацію обладнання, скопіювати дані або порушити роботу інформаційної системи.

Однофакторні системи контролю доступу мають обмежений рівень захисту, оскільки покладаються лише на один доказ особи користувача. Наприклад, RFID-картку можна втратити, PIN-код - розголосити або підібрати, а пароль - скомпрометувати через фішинг чи повторне використання. OWASP зазначає, що справжня MFA передбачає використання незалежних факторів, які не можуть бути скомпрометовані однією і тією самою атакою; два однакові фактори, наприклад пароль і PIN-код, не є повноцінною багатофакторною автентифікацією [1].

Запропонований комплекс доцільно будувати як інтегровану систему, що поєднує апаратні засоби ідентифікації користувача та програмні механізми перевірки прав доступу. До апаратної частини можуть входити RFID/NFC-зчитувач, клавіатура для введення PIN-коду, біометричний модуль, мікроконтролер або одноплатний комп’ютер, електромагнітний замок, реле керування та індикатори стану. Програмна частина забезпечує облік користувачів, перевірку факторів автентифікації, аналіз правил доступу, журналювання подій і формування повідомлень про підозрілі спроби входу (рис. 1).

Математично рішення системи можна подати у вигляді логічної функції (1):

$$D = f(F_1, F_2, F_3, R), \quad (1)$$

де D – результат перевірки доступу;

F_1 – фактор володіння, наприклад RFID/NFC-картка;
F_2 – фактор знання, наприклад PIN-код;
F_3 – біометричний фактор;
R – набір правил доступу.

У найпростішому випадку доступ дозволяється лише тоді, коли всі необхідні умови виконано:

D = 1, якщо F1 = 1, F2 = 1, F3 = 1 та R = 1.

Якщо хоча б один фактор не підтверджено або користувач не має відповідних прав, система формує рішення: D = 0.

Рисунок 1.Структура апаратно-програмного комплексу контролю доступу

Такий підхід підвищує стійкість комплексу до атак, пов'язаних із викраденням або підміною окремого фактора. Джерело (2) відносить помилки автентифікації до окремої категорії ризиків і пов'язує їх, зокрема, з неналежною перевіркою користувача, фіксацією сесії, жорстко закодованими паролями та іншими слабкими місцями механізмів входу. Тому в апаратно-програмному комплексі важливо передбачити не лише перевірку факторів, а й обмеження кількості невдалих спроб, захист бази облікових даних, фіксацію часу входу, ідентифікатора користувача та результату автентифікації.

Джерело (3) визначає технічні вимоги до рівнів гарантії автентифікації та розглядає автентифікацію як процес

підтвердження того, що користувач є раніше зареєстрованим суб'єктом у системі. Це підтверджує доцільність використання багатофакторного підходу для систем, де помилка автентифікації може призвести до порушення безпеки інформаційних ресурсів.

Практична цінність запропонованого комплексу полягає в можливості його використання для захисту серверних приміщень, навчальних лабораторій з кібербезпеки, центрів обробки даних, архівів, приміщень із мережевим обладнанням та робочих місць адміністраторів

Апаратно-програмний комплекс контролю доступу з багатофакторною автентифікацією є актуальним рішенням у сфері кібербезпеки, оскільки поєднує фізичний захист об'єкта з програмною перевіркою цифрової ідентичності користувача. Його використання дозволяє зменшити ризики, пов'язані з втратою RFID-картки, компрометацією PIN-коду, підміною користувача або несанкціонованим доступом до серверного й мережевого обладнання. Найбільш ефективною є модель, у якій рішення про доступ приймається на основі кількох незалежних факторів, правил авторизації та аналізу журналу подій. Такий підхід створює основу для побудови масштабованих систем захисту приміщень, де обробляються або зберігаються важливі інформаційні ресурси.

Список використаних джерел

1. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. Implementing Phishing-Resistant MFA. CISA. URL: https://www.cisa.gov/resources-tools/resources/implementing-phishing-resistant-mfa

1. OWASP. Multifactor Authentication Cheat Sheet. OWASP Cheat Sheet Series. URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/Multifactor_Authentication_Cheat_Sheet.html

2. National Institute of Standards and Technology. Digital Identity Guidelines: Authentication and Authenticator Management: NIST Special Publication 800-63B-4. Gaithersburg: NIST, 2025. URL: https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/63/b/4/final

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕТЕКТУВАННЯ ПРИХОВАНИХ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ

Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Костючко Сергій Миколайович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, s.kostiuchko@gmail.com
Міскевич Оксана Іванівна
Луцький національний технічний університет,
ст. викладач кафедри кібербезпеки, s.kostiuchko@gmail.com

MATHEMATICAL MODELING OF THE DETECTION PROCESSES OF HIDDEN RADIO RADIATIONS

Hryniuk Serhii
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity, sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Kostiuchko Serhii
Lutsk National Technical University,
Associate Professor of the Department of Cybersecurity,
s.kostiuchko@gmail.com
Miskevych Oksana
Lutsk National Technical University,
Senior Lecturer Department of Cybersecurity,
miskevich87@gmail.com

The theses consider mathematical approaches to detecting anomalous radiofrequency radiation in the tasks of technical information protection. The main attention is paid to energy detection, spectral analysis, statistical threshold control and assessment of deviations from the background radiofrequency environment. It is shown that the combination of several mathematical criteria allows to increase the probability of detecting short-term and low-power signals.

Keywords: anomalous radiation, radio monitoring, power

spectral density, energy detector, LPI, LPD, technical information protection.

У сучасних системах технічного захисту інформації важливим завданням є виявлення аномальних радіочастотних випромінювань, які можуть бути ознакою роботи прихованих передавачів, мікрофонів з накопиченням даних, бездротових IoT-модулів або інших засобів несанкціонованого передавання інформації. Складність такого виявлення зумовлена тим, що підозрілі сигнали можуть мати надмалу потужність, коротку тривалість, пакетний режим роботи або маскуватися під звичайну активність бездротових мереж [1].

Математично прийнятий радіосигнал можна подати у вигляді (1):

$$x(t) = s(t) + n(t), \quad (1)$$

де $x(t)$ – спостережуваний сигнал;

$s(t)$ – корисна або аномальна складова;

$n(t)$ – шумова складова радіоканал.

Завдання детектування полягає у виборі однієї з двох гіпотез $H0: x(t) = n(t)$ або $H1: x(t) = s(t) + n(t)$ на основі виміряних параметрів сигналу. Найпростішим методом є енергетичне детектування. Для дискретного сигналу x[n] енергія на інтервалі спостереження N визначається як (2):

$$E = \sum |x[n]|^2 , n = \overline{1 \dots N} \quad (2)$$

Якщо значення E перевищує заданий поріг γ, приймається рішення про наявність аномального випромінювання:

1. E > γ – сигнал вважається підозрілим;

2. E ≤ γ – сигнал вважається фоновим.

Порогове значення γ може визначатися на основі середнього рівня шуму та допустимої ймовірності хибної тривоги.

Для аналізу частотних характеристик застосовується спектральна густина потужності. Вона дає змогу визначити, у яких частотних діапазонах з'являються нетипові піки або короткочасні зміни рівня сигналу (3):

$$P(f) = |X(f)|^2 \quad (3)$$

де $X(f)$ – перетворення Фур'є сигналу x(t);

$P(f)$ – спектральна потужність на частоті f.

Якщо в окремій смузі частот значення P(f) значно перевищує фоновий рівень, це може бути ознакою роботи стороннього передавача.

Для виявлення короткотривалих сигналів доцільно використовувати віконне перетворення Фур'є (4):

$$X(\tau, f) = \int x(t) w(t-\tau) e^{-j2\pi f t} dt, \quad (4)$$

де $w(t-\tau)$ – віконна функція;

τ – часовий зсув;

f – частота.

Такий підхід дає змогу аналізувати не лише частотний склад сигналу, а й момент його появи. Це особливо важливо для LPD-сигналів, які можуть існувати лише протягом короткого проміжку часу.

Для статистичного виявлення аномалій можна використовувати відстань Махаланобіса (5):

$$D^2 = (z-\mu)^T \Sigma^{-1} (z-\mu), \quad (5)$$

де z – вектор поточних ознак сигналу;

μ – середній вектор параметрів нормального фонового стану;

Σ^{-1} – коваріаційна матриця.

Якщо значення D^2 перевищує встановлений поріг, поточний сигнал вважається аномальним. Такий підхід є корисним тоді, коли аналізується не один параметр, а сукупність ознак: потужність, тривалість, частота, ширина смуги, періодичність і структура пакетів.

Ефективність детектування оцінюється через імовірність правильного виявлення Pd та ймовірність хибної тривоги Pfa:

Pd = P(E > γ | H1),

Pfa = P(E > γ | H0).

Оптимальна система радіомоніторингу повинна забезпечувати високе значення Pd за мінімального значення Pfa. У практичних умовах це досягається не одним методом, а комбінацією енергетичного, спектрального, статистичного та часо-частотного аналізу [2].

Математичне обґрунтування методів детектування

аномальних радіочастотних випромінювань є важливою складовою побудови ефективних систем радіомоніторингу та технічного захисту інформації. Виявлення прихованих сигналів не може ґрунтуватися лише на фіксації факту наявності випромінювання, оскільки сучасні радіочастотні загрози часто характеризуються надмалою потужністю, короткою тривалістю передавання, пакетною структурою та маскуванням під звичайну роботу бездротових пристроїв. Тому для їхнього виявлення необхідно застосовувати комплекс математичних методів, які дають змогу оцінювати енергетичні, спектральні, часові та статистичні параметри сигналу [3].

Основу такого підходу становить перевірка статистичних гіпотез, за якої прийнятий сигнал розглядається або як фоновий шум, або як сукупність шуму та підозрілої складової. Енергетичне детектування дає змогу визначати перевищення рівня сигналу над установленим порогом, спектральний аналіз - виявляти нетипові піки у частотній області, а часо-частотні методи – фіксувати короткотривалі імпульсні або пакетні випромінювання. Додаткове використання статистичних критеріїв, зокрема оцінювання відхилень від нормального радіочастотного фону, підвищує точність виявлення аномалій і зменшує ймовірність хибних спрацювань.

Список використаних джерел

1. Zhao J., Qiao S., Booske J. H., Behdad N (2024). Low-probability of Intercept/Detect (LPI/LPD) Secure Communications Using Antenna Arrays Employing Rapid Sidelobe Time Modulation. arXiv. DOI: 10.48550/arXiv.2406.11229.

2. Upadhya K., Jain A., Uusitalo M. A., Viswanathan H (2024). LPD-Aware Uplink CSI-based 5G NR Downlink Synchronization for Tactical Networks. arXiv. DOI: 10.48550/arXiv.2405.12704.

3. Ziemann M. R., Metzler C. A (2024). Adaptive LPD Radar Waveform Design with Generative Deep Learning. arXiv. DOI: 10.48550/arXiv.2403.12254. Дата звернення: 11.05.2026.

АНАЛІЗ РАДІОЧАСТОТНИХ ЗАГРОЗ ТА МЕТОДІВ ПРИХОВАНОГО ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ В КОНТЕКСТІ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет
к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки,
sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Саміла Андрій Петрович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича
д.т.н., професор кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки,
a.samila@chnu.edu.ua
Поліщук Лілія Олексіївна
Луцький національний технічний університет,
lilia.polishchukk@gmail.com

ANALYSIS OF RADIO FREQUENCY THREATS AND METHODS OF COVERT INFORMATION LEAKAGE IN THE CONTEXT OF TECHNICAL INFORMATION PROTECTION

Hryniuk Serhiy
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Cybersecurity,
sgrunjuk@lutsk-ntu.com.ua
Samila Andriy
Chernivtsi National University
Dr.Sc., Professor of the Department of Radio Engineering and Information Security,
a.samila@chnu.edu.ua
Polishchuk Lilia
Lutsk National Technical University,
lilia.polishchukk@gmail.com

The abstracts consider information leakage channels via radio channels, in particular, microphones with storage, IoT protocol stacks, and steganography in radio signals. Covert signals with ultra-low power LPI and short duration LPD are characterized, which complicate detection during radio monitoring. It is shown that such

threats require comprehensive technical control.

Keywords: technical information protection, radio channel, hidden information leakage, LPI, LPD, Delta-X G2/6, radio monitoring, IoT, wireless protocols.

Радіочастотні канали витоку інформації залишаються одним із найбільш складних напрямів технічного захисту інформації, оскільки сучасні засоби прихованого передавання даних можуть використовувати як традиційні аналогові радіопередавачі, так і цифрові протоколи бездротового зв'язку. Особливу небезпеку становлять пристрої, які працюють періодично, передають дані короткими пакетами або маскуються під звичайну активність Wi - Fi, Bluetooth, мобільних чи IoT-пристроїв. У сучасних умовах завдання захисту полягає не лише у виявленні радіовипромінювання, а й у правильній інтерпретації його джерела, режиму роботи, локальності та потенційної небезпеки.(рис.1).

До першої групи належать мініатюрні радіомікрофони, бездротові камери та інші пристрої, що здійснюють безперервну або майже безперервну передачу аудіо- чи відеосигналу.

Друга група охоплює пристрої, які використовують поширені цифрові стандарти - Wi-Fi, Bluetooth, BLE, GSM, LTE, 5G, DECT, ZigBee, LoRa та інші. Виробник Delta-X G2/6 прямо зазначає, що система орієнтована на виявлення аналогових і цифрових пристроїв, які працюють безперервно або періодично, зокрема у стандартах GSM, 3G, 4G/LTE, 5G, Bluetooth, Wi-Fi та DECT.

Третя група пов'язана із прихованими каналами у протокольних стеках IoT. Багато пристроїв розумного будинку, сенсорних мереж, систем контролю доступу та промислової автоматизації використовують низькопотужні бездротові протоколи. У таких системах витік може виникати не лише через радіопередавач як фізичний пристрій, а й через неправильну конфігурацію, слабку автентифікацію, неконтрольований обмін телеметрією або надмірні мережеві дозволи [1].

Рисунок 1. Узагальнена класифікація каналів витоку інформації

Приховані радіосигнали часто характеризуються двома важливими ознаками: низькою ймовірністю перехоплення LPI та низькою ймовірністю виявлення LPD. У відкритих наукових джерелах [2] LPI/LPD розглядаються як властивості зв'язку, за яких сторонньому спостерігачу складно встановити факт передавання або перехопити корисний сигнал. Зокрема, сучасні дослідження описують LPI/LPD як підхід фізичного рівня, де застосовуються просторові, спектральні або часові властивості сигналу для зниження пймовірності виявлення передавання (рис.2).

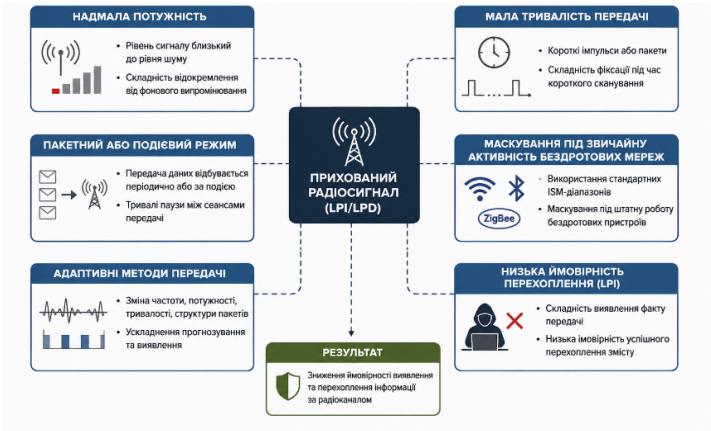


Рисунок 2. Ознаки прихованого радіосигналу LPI/LPD

Для виявлення таких сигналів необхідно поєднувати спектральний аналіз, часовий аналіз, аналіз рівнів сигналу в окремих діапазонах та порівняння з фоновою картиною радіоефіру. У цьому контексті важливою є можливість обладнання працювати не лише як індикатор поля, а як система з реєстрацією подій, пороговим аналізом і накопиченням історії спостережень.

Радіочастотні канали витоку інформації є багаторівневою загрозою, яка може реалізовуватися через аналогові передавачі, цифрові бездротові модулі, IoT-протоколи, пристрої з накопиченням даних і короткочасною передачею. Найскладнішими для виявлення є сигнали з ознаками LPI/LPD, оскільки вони мають малу потужність, коротку тривалість або маскуються під легітимну активність бездротових мереж. Нормативна база ТЗІ визначає загальні підходи до організації захисту об'єктів інформаційної діяльності, а міжнародні стандарти WLAN та IoT-безпеки доповнюють її у частині сучасних бездротових середовищ. Використання Delta-X G2/6 є обґрунтованим для задач радіомоніторингу, виявлення локальних джерел випромінювання, контролю цифрових бездротових стандартів і фіксації короткотривалих підозрілих сигналів.

Список використаних джерел

1. Makhdoom I., Abolhasan M., Abbas H., Ni W (2022). A comprehensive survey of covert communication techniques, limitations and future challenges. Computers & Security. https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102784.

2. Zhao J., Qiao S., Booske J. H., Behdad N (2024). Low-probability of Intercept/Detect (LPI/LPD) Secure Communications Using Antenna Arrays Employing Rapid Sidelobe Time Modulation. Retrieved from https://arxiv.org/html/2406.11229v1.

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ІНСАЙДЕРСЬКИМ АТАКАМ НА ОСНОВІ DLP-ПІДХОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТЕНТНО-ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ

Загребельний Владислав Вікторович
Хмельницький національний університет, магістр,
zahrebelnyivv@khmnu.edu.ua
Петляк Наталія Сергіївна
Хмельницький національний університет, доктор філософії,
доцент кафедри кібербезпеки, npetlyak@khmnu.edu.ua

METHOD FOR DETECTION AND PREVENTION OF INSIDER ATTACKS BASED ON DLP APPROACH USING CONTENT-BEHAVIORAL ANALYSIS

Zahrebelnyi Vladyslav Viktorovych
Khmelnytskyi National University, master,
zahrebelnyivv@khmnu.edu.ua
Petliak Nataliia Serhiivna
Khmelnytskyi National University, PhD, Associate Professor of the Department of Cybersecurity, npetlyak@khmnu.edu.ua

This paper addresses the problem of detecting and preventing insider attacks in the context of increasing volumes of sensitive data processing and the growing complexity of cyber threats. A method based on the integration of content-oriented and behavioral analysis is proposed to improve the effectiveness of insider threat detection. The method involves multi-level event processing. Additionally, a behavioral analysis mechanism is implemented to detect anomalies in user actions. The proposed approach is characterized by adaptability, scalability, and a reduction in false positives, which enhances the overall effectiveness of information resource protection.

Keywords: insider threats, information security, DLP, content analysis, behavioral analysis, data leakage, unstructured data processing, behavioral anomalies, cybersecurity.

У сучасних умовах стрімкої цифрової трансформації та

зростання залежності організацій від інформаційно-комунікаційних технологій питання забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності даних набувають критичного значення. Особливої актуальності набуває проблема протидії інсайдерським загрозам, які, на відміну від зовнішніх атак, реалізуються суб'єктами з легітимними правами доступу до інформаційних ресурсів, що значно ускладнює їх виявлення [1, 2]. Це обумовлює підвищену складність їх виявлення, оскільки такі дії можуть не виходити за межі дозволених операцій і не супроводжуються типовими ознаками несанкціонованого втручання.

Аналіз сучасного стану проблеми свідчить, що традиційні підходи до забезпечення інформаційної безпеки, орієнтовані на захист периметру, не здатні повною мірою протидіяти інсайдерським загрозам. Основним недоліком таких підходів є відсутність урахування семантичного змісту оброблюваних даних та контексту поведінки користувачів [3]. У зв'язку з цим виникає потреба у формуванні нових методів, які поєднують аналіз інформаційних потоків із виявленням аномалій у поведінці суб'єктів доступу [1, 3].

У роботі запропоновано метод виявлення та запобігання інсайдерським атакам, який базується на інтеграції контент-орієнтованого та поведінкового аналізу. Сутність методу полягає у багаторівневій обробці подій, пов'язаних із взаємодією користувачів з інформаційними ресурсами, з подальшою оцінкою ризиків витоку конфіденційних даних.

Метод передбачає реалізацію послідовності взаємопов'язаних етапів обробки даних. На першому етапі здійснюється збір та агрегація подій, що характеризують діяльність користувачів у інформаційній системі. До таких подій належать операції доступу до файлів, їх модифікація, копіювання, передача через мережеві канали, а також запуск прикладних програм та взаємодія з периферійними пристроями. Кожна подія супроводжується набором атрибутів, включаючи часові параметри, ідентифікатори користувача та характеристики використовуваного пристрою, що забезпечує формування

повного контексту діяльності .

Другий етап спрямований на уніфікацію та нормалізацію даних незалежно від форми їх представлення. Важливою особливістю методу є можливість обробки як структурованої, так і неструктурованої інформації. Зокрема, для аналізу графічних даних застосовується підхід оптичного розпізнавання символів, що дозволяє отримувати текстовий вміст із зображень, знімків екранів та документів у растровому форматі. Це забезпечує виявлення потенційних витоків, що реалізуються через нетрадиційні канали передачі інформації, зокрема шляхом перетворення тексту у графічну форму.

На третьому етапі виконується лінгвістична обробка отриманого текстового контенту. Вона включає токенізацію, лематизацію та фільтрацію неінформативних елементів. Застосування таких процедур дозволяє знизити розмірність даних та підвищити релевантність ознак, що використовуються для подальшого аналізу. У результаті формується множина нормалізованих лексичних одиниць, придатних для ефективного порівняння з еталонними шаблонами .

Четвертий етап передбачає реалізацію контентного аналізу, який базується на використанні формалізованих правил та словникових моделей. Для цього застосовуються регулярні вирази, шаблони структурованих даних, а також спеціалізовані словники, що містять ознаки конфіденційної інформації (персональні дані, фінансові реквізити, службова інформація тощо). У процесі аналізу здійснюється зіставлення обробленого тексту з наявними шаблонами, що дозволяє ідентифікувати потенційно небезпечні фрагменти інформації.

Паралельно з аналізом контенту реалізується поведінковий аналіз користувачів. Для цього формується модель типової активності, яка враховує часові характеристики роботи, інтенсивність доступу до ресурсів, характер виконуваних операцій та інші параметри. Відхилення від сформованої моделі розглядаються як аномалії та підлягають додатковому аналізу. Такий підхід дозволяє виявляти як навмисні дії, спрямовані на витік даних, так і ненавмисні порушення, пов’язані з людським

фактором.

Наступним етапом є інтеграція результатів контентного та поведінкового аналізу з метою формування узагальненої оцінки ризику. При цьому враховуються такі фактори, як чутливість оброблюваних даних, характер дій користувача, частота повторення підозрілих операцій та ступінь відхилення від типової поведінки. На основі сукупності цих параметрів визначається рівень критичності інциденту, що дозволяє здійснювати пріоритезацію подій та оптимізувати процес реагування.

Заключний етап методу полягає у прийнятті рішення щодо класифікації події як інциденту інформаційної безпеки та ініціюванні відповідних заходів протидії. Залежно від рівня ризику можуть застосовуватися різні сценарії реагування, включаючи обмеження доступу до ресурсів, блокування операцій передачі даних або формування повідомлень для відповідальних підрозділів.

Таким чином, запропонований метод забезпечує комплексний підхід до виявлення та запобігання інсайдерським атакам, поєднуючи аналіз змісту інформації з дослідженням поведінкових характеристик користувачів. Його застосування дозволяє забезпечити своєчасне виявлення потенційних загроз та мінімізувати ризики витоку конфіденційних даних.

Список використаних джерел

1. Wang J., Sun Q., Zhou C. Insider Threat Detection Based on Deep Clustering of Multi-Source Behavioral Events. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, № 24. Art. 13021. DOI: https://doi.org/10.3390/app132413021

2. Al-Mhiqani M. N. та ін. Insider threat detection in cyber-physical systems: a systematic literature review. Computers and Electrical Engineering. 2024. Vol. 119, Part A. Art. 109489. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109489

3. Xiao H. та ін. Unveiling shadows: A comprehensive framework for insider threat detection based on statistical and sequential analysis. Computers & Security. 2024. Vol. 138. Art. 103665. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103665

ВПЛИВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ НА БЕЗПЕКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ: ФІШИНГ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР ЯК КЛЮЧОВІ ВЕКТОРИ ЗАГРОЗ

Ілюкова Софія Андріївна
Бакалавр, 4 курс, спеціальність 015.39 «Професійна освіта (Цифрові технології)», iliukova_ak22@nuwm.edu.ua
Рейнська Вікторія Борисівна
к.е.н., доцент кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування, v.b.reinska@nuwm.edu.ua

THE IMPACT OF SOCIAL ENGINEERING ON INFORMATION SYSTEMS SECURITY: PHISHING AND HUMAN FACTOR AS KEY THREAT VECTORS

Sofiia Iliukova
4th-year Bachelor's student, specialty 015.39 "Vocational Education (Digital Technologies)", iliukova_ak22@nuwm.edu.ua
Viktoriia Reinska
PhD in Economics, Associate Professor, Department of Computer Engineering, National University of Water and Environmental Engineering, v.b.reinska@nuwm.edu.ua

The article analyzes the dynamics of phishing attacks and the impact of the human factor on information systems security from 2010 to 2025. It is established that social engineering remains a dominant threat due to the exploitation of cognitive biases. The study highlights a 26-fold increase in attacks over 15 years and emphasizes the necessity of a comprehensive defense approach combining technical, organizational, and educational measures.

Keywords: social engineering, phishing, information security, human factor, cyber attacks, cybersecurity awareness.

В умовах стрімкої цифровізації суспільства соціальна інженерія перетворилася на одну з домінуючих загроз інформаційній безпеці. Її специфіка полягає у спрямованості на експлуатацію людського фактору як найбільш уразливого

елемента будь-якої системи захисту. На відміну від класичних технічних атак, соціально-інженерні методи базуються на психологічних реакціях та поведінкових шаблонах користувачів, що ускладнює їх автоматизоване виявлення [1; 5].

Проведений аналіз глобальної статистики за 2010–2025 роки свідчить про стійку тенденцію до експоненціального зростання кількості фішингових інцидентів (рис. 1).

Рисунок 1. Динаміка фішингових атак у світі (2010–2025 рр.)

Згідно з наведеними даними, якщо у 2010 році кількість атак становила 0,5 млн, то у 2025 році цей показник сягнув 13 млн випадків. Такий стрибок зумовлений не лише розширенням цифрового простору, а й використанням технологій штучного інтелекту для автоматизації атак та створення переконливого контенту. Варто також зазначити, що суттєве зростання кількості атак спостерігається після 2020 року, через масовий перехід до віддалених форм роботи.

Паралельно зі зростанням кількості атак спостерігається збільшення частки інцидентів, спричинених безпосередньо людським фактором (табл. 1).

Таблиця 1. Частка інцидентів через людський фактор (2010–2025)

Рік	Частка (%)
2010	60
2013	65
2016	72
2019	78
2021	82
2023	85
2025	88

Дані свідчать, що станом на 2025 рік 88% усіх успішних кіберінцидентів пов’язані з помилками або довірливістю користувачів. Це підтверджує тезу, що навіть найсучасніші технічні засоби захисту не можуть повністю виключити ризики, пов'язані з людським фактором.

У 2025 році структура фішингових атак стала більш диверсифікованою. Хоча традиційний Email phishing (48%) залишається лідером, значну загрозу становлять Spear phishing (22%) та Smishing (12%). Ефективність таких атак базується на психологічних тригерах: створенні відчуття терміновості, наприклад, повідомлення про блокування рахунку або страху втрати важливих доступів.

Комплексна протидія таким загрозам повинна реалізовуватися на трьох рівнях:

1. Технічний: впровадження багатофакторної автентифікації, систем поведінкової аналітики та інструментів фільтрації email.

2. Організаційний: регулярний аудит прав доступу та проведення симуляцій фішингових атак для персоналу.

3. Освітній: систематичне підвищення рівня цифрової грамотності та формування навичок критичного аналізу інформації.

Отже, соціальна інженерія є адаптивною загрозою, ефективність якої лише зростає з розвитком технологій. Подальші

дослідження мають бути спрямовані на розробку інтелектуальних методів виявлення атак, інтеграцію аналітики у системи та вдосконалення підходів до формування цифрової грамотності користувачів.

Список використаних джерел

1. Verizon. (2025) Data Breach Investigations Report. New York: Verizon Enterprise. 120.

2. IBM Security. (2024) Cost of a Data Breach Report. Armonk: IBM Corporation. 85.

3. ENISA. (2023) ENISA Threat Landscape. Brussels: European Union Agency for Cybersecurity. 140.

4. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. (2025) Звіт про стан кіберзахисту державних інформаційних ресурсів за 2024 рік. Київ. 95.

5. Hadnagy C. (2018) Social Engineering: The Science of Human Hacking. Hoboken: Wiley. 302. ISBN 978-1-11943-338-5.

6. Mitnick K., Simon W. (2011) The Art of Deception. Indianapolis: Wiley. 352. ISBN 978-0-7645-4280-0.

7. Hong J. (2012) The state of phishing attacks. Communications of the ACM. Vol. 55(1). 74–81. https://doi.org/10.1145/2063176.2063197.

АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ

Кирилюк Ольга Василівна
Національний університет водного господарства та природокористування, студентка факультету «Інформаційні системи та технології», kyryliuk_ak23@nuwm.edu.ua
Рейнська Вікторія Борисівна
Кандидат економічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування

VULNERABILITY ANALYSIS OF INFORMATION SYSTEMS AND METHODS FOR THEIR ELIMINATION

Kyryliuk Olha Vasylivna
National University of Water Management and Environmental Engineering, student of the Faculty of Information Systems and Technologies, kyryliuk_ak23@nuwm.edu.ua
Reinska Viktoriia Borysivna
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering at the National University of Water and Environmental Engineering

The article analyzes the vulnerabilities of information systems and methods for their elimination in the context of increasing cyber threats. It considers the classifications of OWASP and NIST, describes the types of attacks, and the consequences of exploiting weaknesses. Particular attention is paid to the lifecycle of vulnerability management, the use of CVSS metrics, and proactive defense methods such as patching and SIEM systems.

Keywords: information systems, vulnerability analysis, cybersecurity, vulnerability management, CVSS, patching, NIST, OWASP.

Аналіз вразливостей інформаційних систем є ключовим

елементом забезпечення кібербезпеки в умовах стрімкої цифровізації суспільства та зростання кількості кіберзагроз.

Під вразливістю інформаційної системи доцільно розуміти слабке місце в програмному забезпеченні, апаратній складовій або організаційних процесах, яке може бути використане зловмисником для порушення конфіденційності, цілісності чи доступності інформації. Згідно з підходами OWASP, найбільш поширені категорії вразливостей включають ін'єкційні атаки (зокрема SQL injection), міжсайтовий скриптинг (XSS), порушення автентифікації та неправильне налаштування безпеки, що узагальнено у проєкті OWASP Top 10.

Таблиця 1. Взаємозв'язок типів вразливостей, атак та методів їх усунення

Тип вразливості	Приклад атаки	Механізм експлуатації	Наслідки	Методи усунення
Ін'єкційні (SQL, командні)	SQL Injection	Введення шкідливого коду у запити	Несанкціонований доступ до БД	Параметризовані запити, валідація
Конфігураційні	Сканування портів, exploitation	Використання відкритих сервісів	Доступ до системи	Hardening, закриття портів
Мережеві	Man-in-the-Middle	Перехоплення трафіку	Витік даних	TLS/SSL, шифрування
Програмні (вразливе ПЗ)	Malware, ransomware	Використання експлойтів	Пошкодження/шифрування даних	Патчинг, антивірусний захист

Представлена таблиця демонструє, що ефективне усунення вразливостей вимагає не лише технічних заходів, але й організаційних рішень, зокрема підвищення рівня обізнаності користувачів та впровадження політик безпеки.

Аналіз вразливостей передбачає застосування комплексу методів, серед яких центральне місце займає тестування безпеки.

Відповідно до рекомендацій NIST SP 800-115, до основних методів належать сканування вразливостей, тестування на проникнення та аудит конфігурацій. Сканування вразливостей здійснюється із застосуванням спеціалізованих інструментів, які автоматично виявляють відомі слабкі місця у системі, тоді як пентестинг передбачає моделювання дій потенційного зловмисника з метою виявлення як технічних, так і логічних недоліків системи.

Значну роль у процесі аналізу відіграє також управління вразливостями як безперервний процес. У цьому контексті рекомендації ENISA визначають життєвий цикл роботи з вразливостями, який включає етапи виявлення, класифікації, оцінки ризиків, пріоритезації та усунення. Такий підхід дозволяє організаціям ефективно розподіляти ресурси, зосереджуючись насамперед на критичних вразливостях, які становлять найбільшу загрозу.

Оцінка рівня небезпеки вразливостей зазвичай здійснюється із використанням стандартизованих метрик, таких як CVSS (Common Vulnerability Scoring System), що дозволяє кількісно визначити ступінь ризику. Така класифікація дозволяє ефективніше визначати пріоритетність усунення загроз та оптимізувати процес реагування на інциденти безпеки.

Сучасні інформаційні системи дедалі частіше використовують автоматизовані платформи моніторингу безпеки, зокрема SIEM (Security Information and Event Management) та EDR/XDR-рішення. Такі системи забезпечують централізований збір журналів подій, кореляцію інцидентів та автоматичне виявлення аномальної активності в режимі реального часу. Використання подібних платформ дозволяє значно скоротити час реагування на кіберінциденти та підвищити ефективність управління вразливостями.

Методи усунення вразливостей є не менш важливим компонентом загальної системи кіберзахисту. Відповідно до стандарту NIST SP 800-53, до основних заходів належать

впровадження політик контролю доступу, застосування криптографічних механізмів, аудит та моніторинг подій безпеки, а також регулярне оновлення програмного забезпечення.

Таким чином, аналіз вразливостей інформаційних систем є складним багаторівневим процесом, що поєднує технічні, організаційні та аналітичні аспекти. Його ефективність залежить від системності підходу, використання сучасних інструментів і стандартів, а також від здатності організації оперативно реагувати на нові загрози. Комплексне застосування рекомендацій міжнародних організацій і стандартів дозволяє значно підвищити рівень захищеності інформаційних систем та мінімізувати ризики кіберінцидентів.

Список використаних джерел

1. OWASP Web Security Testing Guide URL https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/

2. OWASP Top 10 URL https://owasp.org/www-project-top-ten/

3. NIST SP 800-115 URL https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-115.pdf

4. NIST SP 800-53 URL https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-53/rev-5/final

5. CIS Critical Security Controls v8 URL https://www.cisecurity.org/controls/v8

ПОБУДОВА ПОСТКВАНТОВОГО МЕХАНІЗМУ ІНКАПСУЛЯЦІЇ КЛЮЧА НА ОСНОВІ AJPS-KEM$_2$

Ковальчук Анастасія Вячеславівна
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», НН ФТІ, студент
anastkova-ipt27@lll.kpi.ua
Ядуха Дарія Вікторівна
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», НН ФТІ, асистент
yadukhadv-ipt@lll.kpi.ua

CONSTRUCTION OF A POST-QUANTUM KEY ENCAPSULATION MECHANISM BASED ON THE AJPS-KEM$_2$

Anastasiia Kovalchuk
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, IPT, Student
anastkova-ipt27@lll.kpi.ua
Dariya Yadukha
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, IPT,
Assistant Lecturer, yadukhadv-ipt@lll.kpi.ua

This paper studies the post-quantum key encapsulation mechanism AJPS-KEM$_2$ in the context of its transfer from the class of Mersenne numbers to the class of generalized Mersenne numbers as a modulus. The AJPS-KEM$_2$ cryptographic primitive was adapted for arithmetic over the new modulus and the new Solve function used for key decapsulation was constructed. The results confirm the possibility of increasing parameter variability by using arithmetic modulo the generalized Mersenne number in the cryptographic primitive.

Keywords: key encapsulation mechanism AJPS-KEM$_2$, AJPS cryptosystem family, post-quantum cryptographic primitives, Mersenne numbers, generalized Mersenne numbers.

На сьогодні найбільш поширеними є асиметричні криптопримітиви, стійкість яких ґрунтується на складності розв’язання задачі факторизації та дискретного логарифмування. Однак в 1997 році П. Шор показав, що такі задачі можуть бути ефективно розв’язані в квантовій моделі обчислень. Таким чином, асиметричні криптопримітиви на основі задач факторизації та

дискретного логарифмування залишаються захищеними лише з огляду на те, що науковцям досі не вдалося побудувати масштабований квантовий комп'ютер. Як наслідок, в 2017 році NIST оголосив конкурс постквантових криптопримітивів, тобто таких криптопримітивів, що є стійкими до атак з використанням як класичних, так і квантових комп'ютерів. Серед учасників конкурсу є механізм інкапсуляції ключа Mersenne-756839, що побудований на основі схеми шифрування AJPS-2, особливістю якої є використання арифметики за модулем числа Мерсенна $M_n = 2^n - 1, n \in N$ [1]. У [2] запропоновано модифікацію механізму інкапсуляції ключа – AJPS-KEM$_2$, яка, завдяки застосуванню функції Solve у процедурі декапсуляції, дозволяє підвищити пропускну здатність. Також було побудовано модифікацію для схеми шифрування AJPS-2, в якій замінено клас чисел Мерсенна на клас узагальнених чисел Мерсенна $GM_{n,m} = 2^n - 2^m - 1$, де $n, m \in N$, $n > m$, для збільшення варіативності параметрів криптопримітиву [3]. В цій роботі зосередимось на побудові модифікації механізму інкапсуляції ключа AJPS-KEM$_2$ для узагальнених чисел Мерсенна $GM_{n,m}$.

Нехай AJPSGM-KEM$_2$ = (KeyGen, Encap, Decap) – модифікація механізму інкапсуляції ключа AJPS-KEM$_2$ для класу узагальнених чисел Мерсенна з такими процедурами: генерація ключів, інкапсуляція та декапсуляція ключа.

Процедура **KeyGen**. Враховуючи параметр захищеності λ обираються узагальнене число Мерсенна $GM_{n,m}$ та ціле число h такі, що $h = \lambda$ та $10h^2 < n \leq 16h^2$. Рівноймовірно та незалежно із множини лишків за модулем $GM_{n,m}$ обираються числа F та G, що мають вагу Геммінга h, тобто $Ham(F) = Ham(G) = h$, та число R, причому $0 < Ham(R) \leq h$. Обчислюється $T = F \cdot R - G \pmod{GM_{n,m}}$. Відкритим ключем є $pk := (R, T)$, особистий ключ – $sk := F$, а значення G є секретним параметром.

Процедура **Encap**. Із множини лишків за модулем $GM_{n,m}$ рівноймовірно та незалежно обираються числа A, B_1 та B_2 з вагою Геммінга h. Шифротекст $C = (C_1, C_2)$ обчислюється так:

$$C_1 = A \cdot R + B_1 \pmod{GM_{n,m}},\ C_2 = A \cdot T - B_2 \pmod{GM_{n,m}},$$

причому значення A, B_1 та B_2 є інкапсульованим ключем.

Процедура **Decap**. Отримувач намагається розв'язати

рівняння $F \cdot C_1 - C_2 \pmod{GM_{n,m}} = Fx + Gy + z \pmod{GM_{n,m}}$, використовуючи функцію Solve. Якщо розв'язок знайдено, то повертається кортеж (A, B_1, B_2), де $A = x$, $B_1 = y$, $B_2 = z$, який і є інкапсульованим ключем.

При декапсуляції ключа в оригінальному AJPS-KEM$_2$ реалізація функції Solve ґрунтується на властивостях добутку числа та степеня двійки за модулем M_n, зокрема на тому, що таке множення є циклічним зсувом числа і не змінює вагу Геммінга. Використовуючи це, функція Solve ітеративно для i-тих, j-тих та k-тих бітів невідомих чисел A, B_1 та B_2 обчислює значення

$$\Delta_i = Ham(W) - Ham(W - 2^i \cdot F \ (mod\ M_n)),$$
$$\Delta_j = Ham(W) - Ham(W - 2^j \cdot G \ (mod\ M_n)),$$
$$\Delta_k = Ham(W) - Ham(W - 2^k (mod\ M_n)),$$
$$\text{де } W = F \cdot C_1 - C_2 = A \cdot F + B_1 \cdot G + B_2 (\text{mod } M_n),$$

та відновлює невідомі біти цих чисел за таким співвідношенням:

$$\begin{cases} 1, \text{якщо } \Delta_i = h, \text{або } \Delta_j = h, \text{або } \Delta_k = 1, \\ 0, \text{якщо } \Delta_r \approx 0 \ (\Delta_r \neq h), \text{де } r \in \{i, j, k\}. \end{cases}$$

Однак в ході дослідження можливості реалізації функції Solve для класу узагальнених чисел Мерсенна було встановлено, що, оскільки множення числа на степінь двійки за модулем $GM_{n,m}$ не є циклічним зсувом, для узагальнених чисел Мерсенна функцію Solve необхідно модифікувати. Далі наведено метод визначення функції Solve для нового класу чисел, який ґрунтується на оцінці верхньої межі ваги Геммінга добутку числа та степеня двійки за модулем $GM_{n,m}$, що доведено в [4]:

$$Ham\left(2^r \cdot A \left(\text{mod } GM_{n,m}\right)\right) \leq Ham(A) + I\{r \geq n - m\} \cdot (r - n + m).$$

Для відновлення i-их та j-их бітів невідомих чисел A та B_1 функція Solve на кожній ітерації обчислює значення Δ_i та Δ_j як:

$$\Delta_i = Ham(W) - Ham\left(W - 2^i \cdot F \left(mod\ GM_{n,m}\right)\right),$$
$$\text{та } \Delta_j = Ham(W) - Ham\left(W - 2^j \cdot G \left(mod\ GM_{n,m}\right)\right),$$

та встановлює i-ий біт числа A та j-ий біт числа B_1 таким чином:

$$\begin{cases} 1, \text{якщо } r \geq n - m \text{ та } 0 < \Delta_r \leq h + r - n + m, \\ 1, \text{якщо } r < n - m \text{ та } 0 < \Delta_r \leq h, \\ 0, \text{інакше}, \end{cases}$$

причому $r \in \{i, j\}$. Після відновлення чисел A та B_1 для знаходження невідомого числа B_2 функція Solve розв'язує лінійне рівняння виду $W = A \cdot F + B_1 \cdot G + B_2 \pmod{GM_{n,m}}$ відносно невідомого значення B_2, і таким чином на виході повертає кортеж з відновлених чисел (A, B_1, B_2) як інкапсульований ключ.

Висновки. У роботі розглянуто механізм інкапсуляції ключа AJPS-KEM$_2$, особливістю якого є використання арифметики за модулем числа Мерсенна та функції Solve при декапсуляції ключа. У роботі представлено модифікацію AJPSGM-KEM$_2$, побудовану шляхом заміни класу чисел Мерсенна на клас узагальнених чисел Мерсенна, та реалізацію функції Solve, адаптовану до арифметики за модулем узагальненого числа Мерсенна. Результати виконаного дослідження підтверджують можливість коректного перенесення схеми AJPS-KEM$_2$ на клас узагальнених чисел Мерсенна, що дозволяє збільшити варіативність параметрів криптопримітиву.

Список використаних джерел

1. A New Public-Key Cryptosystem via Mersenne Numbers / D. Aggarwal, A. Joux, A. Prakash, M. Santha. *Cryptology ePrint Archive*. 2017. URL: https://eprint.iacr.org/2017/481.

2. Ferradi H., Naccache D. Integer Reconstruction Public-Key Encryption. *Cryptology ePrint Archive*. 2017. URL: https://eprint.iacr.org/2017/1231.

3. Yadukha D. The Forgery Attack on the Post-Quantum AJPS-2 Cryptosystem and Modification of the AJPS-2 Cryptosystem by Changing the Class of Numbers Used as a Module. *Theoretical and Applied Cybersecurity*. 2023. Т. 5, вип. 1. URL: https://tacs.ipt.kpi.ua/article/view/286166.

4. Ядуха Д. В., Фесенко А. В. Оцінка ваги Хеммінга суми та добутку чисел за модулем узагальненого числа Мерсенна. *Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики*, 2020. URL: http://conf.ipt.kpi.ua/arxiv/2020-рік/.

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІВ В КІБЕРБЕЗПЕЦІ

Козубцова Леся Михайлівна
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, к.т.н., доцент, завідувач кафедри фундаментальних дисциплін, lesia.kozubtsova@viti.edu.ua
Козубцов Ігор Миколайович
Луцький національний технічний університет, д.п.н., с.н.с., професор кафедри комп'ютерних наук, i.kozubtsov@lntu.edu.ua

THE USE OF GRAPHS IN CYBERSECURITY

Kozubtsova Lesya Mykhailivna
Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunications and Informatization, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Fundamental Disciplines, lesia.kozubtsova@viti.edu.ua
Kozubtsov Igor Mykolayovych
Lutsk National Technical University, Doctor of Pedagogical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department of Computer Science, i.kozubtsov@lntu.edu.ua

The report highlights the potential application of graph theory in cybersecurity as a tool for studying complex structures and interrelationships, which has been confirmed in practice by its ability to formalize network processes, analyze the topology of computer networks, identify vulnerabilities, and predict potential cyber threats. Thanks to the versatility and flexibility of graph models, they are widely used in cybersecurity tasks, particularly in network traffic analysis, attack detection, the design of defense systems, and access control. Thus, the aim of this paper is to examine the application of graphs in cybersecurity as a relevant scientific and practical field that contributes to improving the effectiveness of information resource protection.

Keywords: application, graph, cybersecurity, mathematics, cyber threats, forecasting.

З появою мережі Інтернет з'явилися кіберзагрози. На жаль,

кожного дня недобросовісні користувачі, використовуючи слабкі місця інформаційних систем. Кібербезпека – комплекс заходів, який спрямований на здійснення захисту різноманітних систем та мережі від кібератак. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, зростання обсягів даних та ускладнення кіберзагроз зумовлюють необхідність пошуку ефективних методів аналізу, моделювання й захисту інформаційних систем. Сучасні технології зорієнтовані на використання математичного аналізу даних, шо дозволяють протидіяти протиправним діям в мережі. Для здійснення захисту даних також необхідні фундаментальні знання дискретної математики, серед яких провідне місце посідає теорія графів. Саме розділ теорія графів, або графові технології, має великий потенціал та значення серед усієї кількості математичних методів, адже завдяки ним можна вирішити проблеми майже в кожній відомій вам дисципліні.

Теорія графів є інструментом дослідження складних структур і взаємозв'язків, що дозволяє формалізувати мережеві процеси, аналізувати топологію комп'ютерних мереж, виявляти вразливості та прогнозувати потенційні кіберзагрози. Завдяки універсальності та гнучкості графових моделей, вони знаходять широке застосування в задачах кібернетичної безпеки, зокрема при аналізі мережевого трафіку, виявленні атак, побудові систем захисту та управлінні доступом.

Отже, метою доповіді є розглянути застосування графів у кібербезпеці, як актуальний науково-практичний напрям, що сприяє підвищенню ефективності захисту інформаційних ресурсів.

З математики відомо, шо граф – це певна дискретна структура, яка складається з вершин та зв'язків (ребер), які з'єднують ці вершини. Теорія графів відноситься до скінченої геометрії, яка дозволяє просто і зрозуміло описувати складні речі [1]. З геометричної точки зору граф – це геометрична фігура, яка складається з точок (вершин) і ліній (ребер), які їх з'єднують. З алгебраїчної точки зору графи можна представити спеціальними матрицями суміжності і списками суміжності. Ці елементи є ефективним засобом перетворення великого обсягу інформації в

зрозумілу візуальну форму без втрати інформативності.

Розглянемо застосування графів для блокування фішингу в мережі. Фішинг – це вид кібершахрайства, що передбачає створення вебресурсів, які імітують сайти надійних організацій з метою отримання конфіденційних даних користувачів, зокрема облікових записів або платіжної інформації.. Одним із найпоширеніших способів реалізації фішингових атак є масове розсилання електронних повідомлень із закликом перейти за посиланням і ввести ідентифікаційні дані. Для ефективного виявлення та блокування таких загроз, тобто знешкоджувати злочинців, необхідно здійснити пошук потенційних доменів шахраїв, адже вони пов'язані кількома сутностями:

1) a name server – сервер, який реалізує службу для отримання відповідей на запит в мережі;

2) a registar – комерційна компанія, яка займається бронюванням доменів в мережі Інтернет;

3) an IP address – унікальний числовий запис, що присвоюється кожному пристрою для використання в мережі протоколу зв'язку. [2]

На основі отриманих даних, за аналогією [2] створимо граф мережевих даних, який допомагає виявляти потенційні домени шахраїв та блокувати їх (рис. 1).

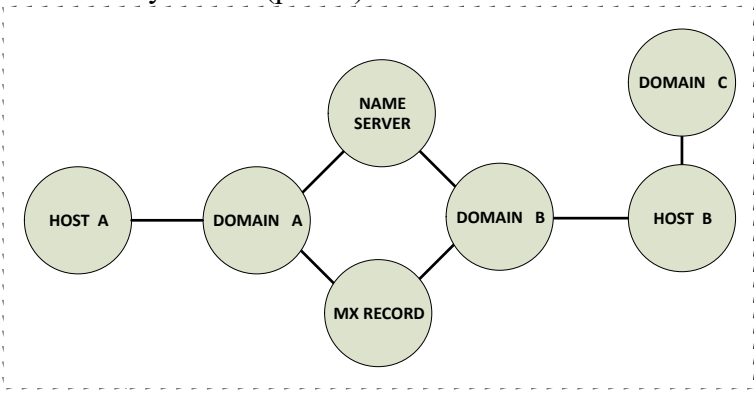


Рисунок 1. Модель графа мережевих даних, створений компанією Cisco

Варто зазначити, що графи можуть бути використані й у

доволі нестандартний спосіб. Аби удосконалювати системи, потрібно знаходити слабкі місця в ній та прибирати їх. Для таких цілей потрібно змоделювати кібератаку на систему з використанням графа атак (спеціальний метод, який здатен знаходити вразливості та опрацьовувати їх взаємодію).

Як зазначають автори дослідження [1] до графів атак відносять: умовно-орієнтовний граф залежностей, граф залежних експлойтів та граф з перерахування станів. Їх застосовують під час розслідування комп'ютерних атак, прогнозування можливих дій кіберзлочинців та виявлення слабких місць системи захисту.

Для посилення безпеки даних потрібно виконати шифрування у вигляді послідовностей бінарних чисел різної довжини. Цей процес називається криптографією перетворень, яку зручно здійснювати та візуалізовувати за допомогою бінарних дерев-графів [3].

Отже, застосування теорії графів для візуального зображення даних безпеки дозволяє створювати систему обліку та розвідки, яка може бути використана для аналізу можливих кібератак в майбутньому та вже наявних вразливостей системи. Також вони дають змогу розробляти моделі мережевих даних для пошуку кіберзлочинців.

Список використаних джерел

1. Шевченко С.М., Жданова Ю.Д., Складанний П.М., Спасітєлєва С.О. Математичні моделі в кібербезпеці: графи та їх застосування в кібербезпеці. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2021.No 1(13). С. 133 – 144.

2. Cyber security: how to use graphs to do an attack analysis. 2014. URL: https://linkurious.com/blog/cyber-security-use-graphs-attack-analysis.

3. Maida L. Graph Theory: A Mathematical Approach to Activating Security Data. 2018. URL: https://mytechdecisions.com/network-security/graph-theory-mathematical-approach-activating-security-data.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРАТАК

Кондіус Інна Степанівна
Луцький національний технічний університет, кандидат економічних наук, декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій, innastk@ukr.net
Кондіус Костянтин Юрійович
Луцький національний технічний університет, аспірант, kondius_kostya@ukr.net

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO CYBERATTACK DETECTION

Inna Kondius
Lutsk National Technical University, dean of the Computer and Information Technologies Faculty, PhD, innastk@ukr.net
Kostiantyn Kondius
Lutsk National Technical University, postgraduate student, kondius_kostya@ukr.net

Advanced cyberattack detection methods (2021–2026) are analyzed, focusing on Graph Neural Networks, Federated Learning, and SecureBERT models. The analysis addresses IoT security challenges and encrypted traffic, justifying the transition from signature-based detection to XDR systems utilizing behavioral analysis to counter sophisticated APT threats.

Keywords: cybersecurity, AI, attack detection, federated learning, SecureBERT, XDR.

У 2026 році ландшафт кіберзагроз характеризується безпрецедентною складністю через широке впровадження штучного інтелекту. Традиційні методи виявлення стають малоефективними проти поліморфного шкідливого програмного забезпечення та цілеспрямованих атак (APT) [1]. Сучасні підходи фокусуються на переході від реактивного реагування до проактивного виявлення аномалій у режимі реального часу, використовуючи гібридні аналітичні моделі.

Ключовою проблемою є критичне зростання обсягів даних у сучасних мережах та IoT-середовищах. Високий рівень хибнопозитивних спрацювань у традиційних системах виявлення вторгнень, що призводить до ігнорування реальних загроз операторами. Атаки на самі моделі машинного навчання, коли зловмисники навмисно модифікують вхідний трафік для обходу нейромереж. Приховування шкідливого навантаження у повністю зашифрованому трафіку, що вимагає нових методів аналізу без прямого дешифрування пакетів [2].

Традиційні алгоритми машинного навчання часто не здатні враховувати просторову топологію комп'ютерних мереж. Сучасні системи вирішують цю проблему за допомогою графових нейронних мереж (GNN), які математично моделюють взаємозв'язки між IP-адресами, портами та процесами у вигляді вузлів та ребер графа [3].

Федеративне навчання дозволяє тренувати моделі штучного інтелекту локально, безпосередньо на кінцевих пристроях або серверах філій. У центральне сховище для агрегації передаються лише оновлення математичних ваг моделі, а не самі дані користувачів. Це гарантує конфіденційність та дозволяє різним організаціям спільно навчати системи виявлення нових загроз без обміну чутливою інформацією [4].

Проривом останніх років стало застосування доменно-специфічних великих мовних моделей для завдань Центрів операційної безпеки (SOC), які здатні аналізувати обфусковані скрипти, автоматично інтерпретувати системні події та генерувати детальні звіти природною мовою. Крім того, ШІ може самостійно пропонувати або створювати правила реагування на основі виявленої підозрілої активності, радикально скорочуючи час реакції на інцидент [5].

Замість пошуку відомих індикаторів компрометації (IoC), таких як хеші вірусів чи шкідливі IP, передові підходи зосереджені на індикаторах атак (IoA) за допомогою аналізу поведінки. Системи UEBA будують динамічний базовий профіль «нормальної» активності для кожного співробітника та пристрою [6].

Оскільки понад 90 % сучасного мережевого трафіку використовує протоколи шифрування, традиційні методи глибокого аналізу пакетів стають неактуальними. Сучасний підхід полягає в застосуванні машинного навчання до метаданих сесій. Аналізуючи розмір пакетів, таймінги та послідовність напрямків передачі даних, алгоритми здатні з високою точністю класифікувати тип трафіку без його розшифровки.

Інтеграція адаптивного штучного інтелекту є єдиним дієвим шляхом для протидії сучасним кіберзагрозам [7]. Майбутнє систем виявлення лежить у площині XDR, що об'єднує графову аналітику, поведінкові фактори та федеративне навчання в єдину екосистему. Проте, пріоритетним напрямком подальших досліджень має стати забезпечення стійкості самих ШІ-моделей до цілеспрямованих маніпуляцій з боку атакуючих, адже алгоритми захисту дедалі частіше стають головною мішенню хакерів.

Список використаних джерел

1. Sarker, I. H. (2023). Cyber Security Data Science: A Modern Data-Driven Approach, Journal of Network and Systems Management, New York, Springer Nature, 1–25.

2. Ferrag, M. A., Friha, O., et al. (2022). Edge-IIoTset: A New Comprehensive Realistic Cyber Security Dataset of IoT and IIoT Applications for Centralized and Federated Learning, IEEE Access, Piscataway, IEEE. 40281–40306.

3. Aghaei, E., et al. (2023). SecureBERT: A Domain-Specific Language Model for Cybersecurity, IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, Piscataway, IEEE. 1–15.

4. Boateng, Y. J (2026)/ Application of AI in Cyberattack Detection: A Review, Sensors, Basel, MDPI, 1518–1542.

6. Shaukat, K., et al. (2023). Towards the Deployment of Machine Learning Models in Real-World Cyber Security Scenarios, Sensors, Basel, MDPI, 2023, pp. 408–435.

7. Eswaran, N. (2025). Cyberattack Detection and Classification of Power Converters in Islanded Microgrids Using Deep Learning Approaches, Electronics, Basel, MDPI. 3409–3430.

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ

Костючко Сергій Миколайович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри кібербезпеки,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Міскевич Оксана Іванівна
Луцький національний технічний університет, старший викладач кафедри кібербезпеки, miskevych.o@lutsk-ntu.com.ua
Цехмайструк Артем Васильович
Луцький національний технічний університет, студент кафедри кібербезпеки, tsekhmaystruk.a0211@lntu.edu.ua

INFORMATION INTERACTION PROTECTION BASED ON DISTRIBUTED DATA REPRESENTATION

Kostiuchko Serhii
Lutsk National Technical University,
Ph.D., head of the Cybersecurity Department,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Miskevych Oksana
Lutsk National Technical University, senior lecturer of the Cybersecurity Department, miskevych.o@lutsk-ntu.com.ua
Tsehmajstruk Artem
Lutsk National Technical University, student of the Cybersecurity Department, tsekhmaystruk.a0211@lntu.edu.ua

The paper examines data encryption technologies, focusing on visual cryptography as a method for ensuring information confidentiality. It outlines its principles, advantages, practical applications, and software implementation for encryption and decryption. The study shows that visual cryptography can effectively protect sensitive data and may be useful in authentication, access control, and critical information systems.

Keywords: cryptography; V-Crypt; symmetric encryption; asymmetric encryption; steganography.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю

підвищення захищеності комунікаційних процесів під час передавання конфіденційної інформації у вигляді графічних або текстово-графічних даних. У традиційних криптографічних системах захист повідомлення здебільшого залежить від стійкості алгоритму та надійності зберігання ключа. У симетричному шифруванні для перетворення відкритого тексту P у криптотекст C використовується один ключ K: $C = E_K(P)$, а відновлення виконується як $P = D_K(C)$. У разі компрометації ключа вся система втрачає стійкість. Асиметричні алгоритми, зокрема RSA та ECC, використовують пару ключів, однак потребують більших обчислювальних ресурсів і складнішої інфраструктури керування ключами. У поданому дослідженні розглянуто також AES, DES, RSA, ECC та підхід поділу візуального повідомлення на окремі частки.

Перспективним підходом є використання порогової схеми розподіленого візуального подання даних (k,n), де n – загальна кількість часток, а k – мінімальна кількість часток, необхідних для відновлення повідомлення. Секретне бінарне зображення можна подати як матрицю $I(x,y) \in \{0,1\}$.

Для кожного пікселя формуються частки S_1, S_2, ..., S_n, які окремо не містять зрозумілої інформації. Відновлення виконується шляхом накладання не менше k часток:

$$I'(x,y) = S_{i1}(x,y) \vee S_{i2}(x,y) \vee ... \vee S_{ik}(x,y), \quad (1)$$

де $\vee$ – логічна операція «АБО», що відповідає накладанню візуальних шарів.

У схемі (2, 2) один піксель замінюється двома підпікселями. Для білого пікселя обидві частки можуть мати однаковий шаблон: $S_1 = [1\ 0]$, $S_2 = [1\ 0]$. Для чорного пікселя використовуються доповнювальні шаблони: $S_1 = [1\ 0]$, $S_2 = [0\ 1]$. Після накладання чорний піксель стає повністю затемненим, а білий – частково затемненим, що забезпечує візуальне розпізнавання повідомлення.

Якість відновлення можна оцінити через контраст:

$$\alpha = (w_b - w_w)/m, \quad (2)$$

де w_b – кількість чорних підпікселів у чорному пікселі, w_w – кількість чорних підпікселів у білому пікселі, m – коефіцієнт

розширення пікселя. Наприклад, якщо m = 2, w_b = 2, w_w = 1, то α=0,5.

Практична реалізація виконана мовою Python із використанням бібліотек Pillow для обробки зображень, NumPy для роботи з матрицями пікселів і Tkinter для створення інтерфейсу. Попередня бінаризація зображення може здійснюватися за правилом:

$$I(x,y)=1, \text{ якщо } G(x,y)<T;$$
$$I(x, y) = 0, \text{ якщо } G(x, y) \geq T,$$

де G(x, y) – яскравість пікселя, T – порогове значення.

Отже, розподілене представлення візуальних даних є ефективним підходом до захисту комунікацій, оскільки окрема частка не розкриває змісту повідомлення, а відновлення можливе лише за наявності заданої кількості фрагментів. Метод доцільно застосовувати для захисту QR-кодів, електронних перепусток, біометричних шаблонів, систем автентифікації та службових графічних повідомлень (рис. 1).

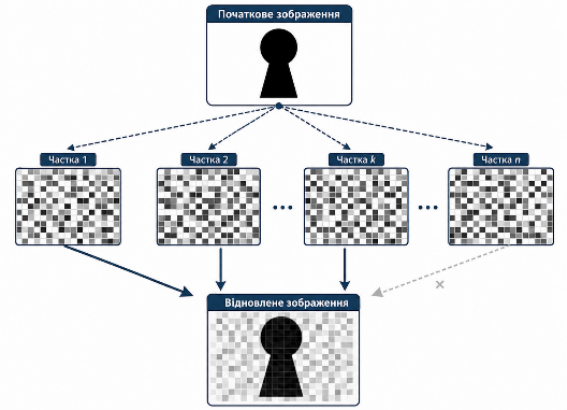


Рисунок 1. Принцип роботи візуальної криптографії

Список використаних джерел

1. Naor M., Shamir A. Visual cryptography. Advances in Cryptology – EUROCRYPT'94. Berlin, Heidelberg, 1995. P. 1–12. URL: https://doi.org/10.1007/bfb0053419 (date of access: 01.10.2024).

2. Yang C.-N., Chen T.-S. Aspect ratio invariant visual secret sharing schemes with minimum pixel expansion. Pattern Recognition Letters. 2005. Vol. 26, no. 2. P. 193–206. URL: https://doi.org/10.1016/j.patrec.2004.08.025 (date of access: 07.10.2024).

3. Cryptography: Theory and practice. Computers & Mathematics with Applications. 1995. Vol. 30, no. 9. P. 125. URL: https://doi.org/10.1016/0898-1221(95)90225-2 (date of access: 07.10.2024).

4. Гринюк С., Поліщук М. Використання технології шифрування інформації для безпечної передачі в мережі. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION. 2020. № 39. С. 122–126. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-21 (дата звернення: 25.10.2024).

5. Можливості авторизації та захисту даних користувача під час розробки хмарних веб-додатків для IoT / M. Polishchuk та ін. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION. 2023. № 52. С. 94–103. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-12 (дата звернення: 25.10.2024).

6. Римчук, І., Костючко, С., Поліщук, М., Гринюк, С., & Конкевич, Л. (2024). БЕЗПЕКА КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІЗУАЛЬНОЇ КРИПТОГРАФІЇ. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(26), 258–267. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.677 / URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/677

ЗАХИЩЕНА WEBSOCKET-КОМУНІКАЦІЯ З ДИНАМІЧНОЮ РОТАЦІЄЮ КЛЮЧІВ

Костючко Сергій Миколайович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри кібербезпеки,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Сурова Наталія Миколаївна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, n.surova@lntu.edu.ua
Руденко Олександр Олександрович
Луцький національний технічний університет, студент кафедри кібербезпеки, rudenko.o2009.125.24@lntu.edu.ua

SECURE WEBSOCKET COMMUNICATION WITH DYNAMIC KEY ROTATION

Kostiuchko Serhii
Lutsk National Technical University,
Ph.D., head of the Cybersecurity Department,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Surova Natalia
Lutsk National Technical University, Ph.D., docent of the Cybersecurity Department, n.surova@lntu.edu.ua
Rudenko Oleksandr
Lutsk National Technical University, student of the Cybersecurity Department, rudenko.o2009.125.24@lntu.edu.ua

The purpose of the paper is to ensure the confidentiality and security of information exchange through the use of reliable communication protocols that support message integrity, data reliability, and secure user authorization.

Keywords: authorization, protect, security, web sockets, messenger.

Сучасні системи обміну повідомленнями повинні забезпечувати не лише швидку доставку даних, а й криптографічний захист від несанкціонованого доступу, підміни

повідомлень, атак типу «людина посередині» та компрометації серверної інфраструктури. Традиційна модель HTTP-запитів не є оптимальною для чатів реального часу через додаткові накладні витрати на встановлення з'єднань і відсутність повнодуплексної взаємодії. Використання WebSocket усуває цю проблему завдяки підтримці постійного TCP-з'єднання, у межах якого клієнт і сервер можуть одночасно передавати повідомлення в обох напрямах.

Запропонована архітектура (рис. 1) передбачає поділ системи на клієнтський, серверний і криптографічний рівні. На клієнтському рівні формується повідомлення, виконується ініціалізація криптографічного сеансу, генеруються або завантажуються ключі користувача та здійснюється шифрування відкритого тексту. На серверному рівні виконується автентифікація користувачів, маршрутизація WebSocket-з'єднань, зберігання публічних PreKey-пакетів і передавання зашифрованих повідомлень без доступу до їхнього змісту. Криптографічний рівень реалізує асиметричне узгодження секрету між учасниками комунікації та подальше симетричне шифрування повідомлень на основі сеансових ключів.

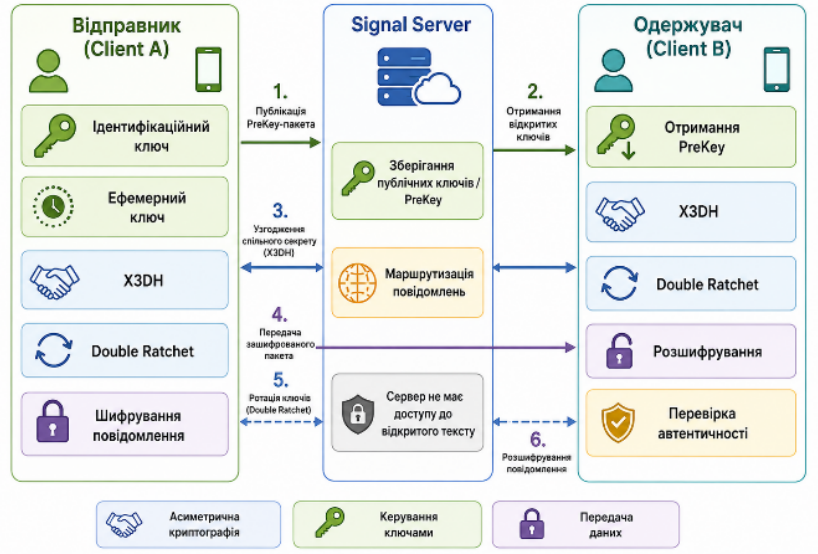


Рисунок 1. Архітектура асиметричного шифрування

Для первинного встановлення захищеного сеансу доцільно застосовувати розширений потрійний алгоритм Діффі-Хеллмана X3DH. Він використовує ідентифікаційні ключі, підписані попередні ключі, ефемерні ключі та одноразові попередні ключі. У результаті виконання кількох операцій DH формується спільний секрет, який передається до функції виведення ключа KDF. Це дозволяє сформувати криптографічний матеріал для подальшого шифрування повідомлень без прямого передавання приватних ключів через мережу.

Після ініціалізації сеансу застосовується алгоритм Double Ratchet, який динамічно оновлює ключі для кожного нового повідомлення. Такий підхід зменшує ризик повторного використання ключів і забезпечує пряму секретність: компрометація одного ключа не дозволяє відновити попередні повідомлення. Додатково механізм DH Ratchet забезпечує самовідновлення криптографічного стану після часткової компрометації, оскільки нові ключі формуються на основі оновлених параметрів обміну.

З технічної точки зору сервер у такій архітектурі виконує роль комунікаційного посередника, але не криптографічного довіреного центру. Він може зберігати лише публічні параметри, черги зашифрованих повідомлень та службову інформацію про підключення користувачів. Відкритий текст повідомлення формується лише на пристрої відправника до шифрування та на пристрої одержувача після розшифрування. Це відповідає принципу E2EE, за якого навіть компрометація серверної частини не повинна призводити до розкриття змісту листування.

Поєднання WebSocket і протоколу Signal дозволяє сформувати технічно завершену архітектуру захищеного месенджера реального часу. WebSocket забезпечує низьку затримку та двонаправлений обмін повідомленнями, тоді як X3DH і Double Ratchet відповідають за асиметричне узгодження ключів, автентифікацію учасників, пряму секретність і регулярне оновлення сеансових ключів. У результаті система може підтримувати захищений обмін повідомленнями навіть за умови недовіри до транспортного або серверного середовища.

Список використаних джерел

1. P. S. Sathish Kumar & S. Bharathi. (2021). Understanding the Full Stack Technology for Web Development. International Journal of Computer Sciences and Engineering, 9(3), 63-69.

2. Fielding, R., & Reschke, J. (2021). Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content (2nd ed.). RFC Editor. https://tools.ietf.org/html/rfc7231

3. Paar, C., Pelzl, J., & Preneel, B. (2021). Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners (4th ed.). Springer.

4. Green, M. (2021). Practical Cryptography in Python: Learning Correct Cryptography by Example. No Starch Press.

5. Поліщук, М., Гринюк, С. (2020). Використання технології шифрування інформації для безпечної передачі в мережі. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (39), 122-126. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-21.

6. Kostiuchko, S., Polishchuk, M., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A., Twarog, B. The Auxiliary Parametric Sensitivity Method as a Means of Improving Project Management Analysis and Synthesis of Executive Elements / Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST, 2021, 395 LNICST, pp. 174–184.

7. Поліщук, М., Семенюк, О., Поліщук, Л., & Ломакін, М. (2023). Можливості авторизації та захисту даних користувача під час розробки хмарних веб-додатків для IoT. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (52), 94-103. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-12.

8. Римчук, І., Костючко, С., Поліщук, М., Гринюк, С., & Конкевич, Л. (2024). Безпека комунікаційних процесів з використанням візуальної криптографії. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(26), 258–267. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.677 / URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/ journal/article/view/677

РЕЗУЛЬТАТИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ КРИПТОГРАФІЧНИХ АЛГОРИТМІВ У ЗАДАЧАХ ЗАХИСТУ МОБІЛЬНИХ І СУПУТНИКОВИХ МЕРЕЖ

Лактіонов Іван Сергійович
НТУ «Дніпровська політехніка», доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем,
laktionov.i.s@nmu.one

RESULTS OF A MULTI-CRITERIA COMPARATIVE ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS FOR THE SECURITY OF MOBILE AND SATELLITE NETWORKS

Ivan Laktionov
Dnipro University of Technology, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Software of Computer Systems, laktionov.i.s@nmu.one

This work presents the results of a multi-criteria analysis of the performance of modern cryptographic algorithms, namely AES-256-GCM, ChaCha20-Poly1305, and the Kyber family, when used in mobile and satellite networks with limited computational resources. The research was conducted using simulation modelling and computer experiments, taking into account the influence of noise factors. The algorithms were evaluated for signal recovery accuracy, performance, and resource consumption. It has been established that symmetric algorithms provide high performance and accuracy, whilst post-quantum algorithms are characterised by increased cryptographic resilience due to greater computational complexity. The results obtained can be used to substantiate the selection of cryptographic solutions in information and communication systems.

Keywords: mobile network, satellite network, cryptographic algorithm, accuracy, computing resources, performance.

У сьогоденних умовах глобальної цифровізації бездротові інфокомунікаційні технології, зокрема мобільні та супутникові

мережі зв'язку, стали невід'ємними для функціонування промисловості та критичної інфраструктури. Зростаюча залежність промисловості, бізнесу та логістики від мобільних і супутникових технологій зв'язку зумовлює нагальну потребу підвищення їхньої надійності та стійкості до широкого спектра кібератак. До таких загроз належать глушіння сигналу, його перехоплення, підміна, а також цілеспрямовані атаки на криптографічні механізми, протоколи автентифікації та засоби керування каналами зв'язку [1, 2].

Основною метою цього дослідження є багатокритеріальна оцінка та аналіз ефективності алгоритмів шифрування, потенційно стійких до сучасних кібератак, зокрема квантових, з урахуванням можливості їх застосування на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами в інфокомунікаційних мережах під час передавання даних і інформаційних повідомлень.

Під час програмної реалізації та валідації обраних алгоритмів (AES-256-GCM, ChaCha20-Poly1305, Kyber 512/ 768/ 1024) з урахуванням формалізованого впливу обмежених ресурсів і дестабілізуючих факторів, в цьому дослідженні було використано методи імітаційного моделювання та комп'ютерного експерименту. Крім того, для оцінювання ефективності досліджуваних криптографічних алгоритмів застосовано методи статистичної обробки даних і багатокритеріальної оцінки.

Результати досліджень у систематизованому вигляді оцінок кількісних і якісних характеристик, які було одержано в результаті серії комп'ютерних експериментів [2], наведено в таблиці 1. На підставі проведених досліджень встановлено, що симетричні алгоритми AES-256-GCM і ChaCha20-Poly1305 продемонстрували найвищу точність відновлення сигналу, а також значну перевагу за швидкодією. Це робить їх більш ефективними для систем із обмеженими ресурсами та жорсткими вимогами до часової затримки. Водночас підтверджено існування компромісу між швидкодією та рівнем безпеки: симетричні алгоритми є оптимальними для швидкісних застосувань, тоді як Kyber забезпечує вищу криптографічну стійкість. Якісний аналіз результатів також підтвердив коректність запропонованого

підходу до комплексної оцінки характеристик криптографічних алгоритмів, що може бути використана як алгоритмічна основа під час подальших досліджень ефективності криптографічних рішень для систем мобільного і супутникового зв'язку.

Таблиця 1. Результати порівняльного аналізу досліджуваних криптографічних алгоритмів

Алгоритм / характеристика	**AES-256-GCM**	**ChaCha20-Poly1305**	**Kyber (512/768/1024)**
Тип	Симетричний	Симетричний	Постквантовий
Точність (MSE)	від $0{,}11 \cdot 10^{-5}$ до $0{,}19 \cdot 10^{-5}$	від $4{,}93 \cdot 10^{-5}$ до $5{,}1 \cdot 10^{-5}$	від $78 \cdot 10^{-5}$ до $83 \cdot 10^{-5}$
Швидкодія	Висока	Висока	Відносно низька
Ресурсоємність	Низька	Низька	Висока
Вплив шуму	Значно впливає	Значно впливає	Незначно впливає
Рекомендована сфера застосування	Системи реального часу	Мобільні пристрої	Критично захищені системи

Тези підготовлено в рамках проєкту 2025.06/0047 «Інформаційні технології криптографічного захисту й автентифікації даних для систем мобільного та супутникового зв'язку», що фінансується Національним фондом досліджень України.

Список використаних джерел

1. Laktionov, I., et al. (2025). A Comprehensive Review of Cybersecurity Threats to Wireless Infocommunications in the Quantum-Age Cryptography. *IoT*, 6 (4). P. 1–29.

2. Laktionov, I.S., et al. (2025). Simulation-driven assessment of cryptographic algorithms for resource-constrained infocommunication networks. *Naukovyi Visnyk NHU*, 6. P. 148–156.

КРИПТОГРАФІЧНА ОБРОБКА ОБЛІКОВИХ ДАНИХ КОРИСТУВАЧА В МЕРЕЖЕВОМУ ОБЛАДНАННІ

Литвин Вадим Анатолійович
Луцький національний технічний університет, магістр,
lytvyn_12858485@lutsk-ntu.com.ua
Костючко Сергій Миколайович
Луцький національний технічний університет,
к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри кібербезпеки,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Поліщук Микола Миколайович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, polishchuk.kolia@gmail.com
Гринюк Сергій Васильович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, sergij.grunjuk@gmail.com

CRYPTOGRAPHIC PROCESSING OF USER ACCOUNT DATA IN NETWORK EQUIPMENT

Lytvyn Vadym
Lutsk National Technical University, master,
lytvyn_12858485@lutsk-ntu.com.ua
Kostiuchko Serhii
Lutsk National Technical University,
Ph.D., head of the Cybersecurity Department,
s.kostiuchko@lutsk-ntu.com.ua
Polishchuk Mykola
Lutsk National Technical University, Ph.D., docent of the Cybersecurity Department, polishchuk.kolia@gmail.com
Hryniuk Serhii
Lutsk National Technical University, Ph.D., docent of the Cybersecurity Department, sergij.grunjuk@gmail.com

This work focuses on MikroTik's transition to elliptic curves and the use of asymmetric password-based authentication protocols (similar to EC-SRP).

Keywords: authorization, protect, security, network, username.

Мережеве обладнання компанії MikroTik займає значну частку ринку як у корпоративному сегменті, так і серед SOHO-рішень. З виходом RouterOS версії 7 розробники запровадили фундаментальні зміни в ядрі системи, зокрема повністю переробили механізм зберігання облікових даних та процес автентифікації користувачів.

Відмова від застарілих методів передачі та перевірки паролів на користь протоколів, що базуються на еліптичній криптографії, є значним кроком уперед. Це унеможливлює перехоплення пароля у відкритому вигляді чи у вигляді простого хешу під час мережевого обміну. Проте безпека таких рішень залежить не лише від математичної надійності алгоритмів, але й від якості їх архітектурного проєктування та безпеки низькорівневої імплементації.

У новій версії RouterOS розробники відмовилися від передачі паролів мережею, запровадивши протокол, подібний до EC-SRP.

Замість пароля роутер зберігає сіль та публічну точку на еліптичній кривій. Під час логіну клієнт і сервер доводять одне одному знання скаляра без його фактичної передачі.

Головною проблемою алгоритму є відсутність Key Stretching (розтягування ключа).

Сучасні GPU здатні обчислювати мільярди таких хешів за секунду. Без застосування ресурсомістких KDF-функцій (Argon2, PBKDF2), компрометація бази даних пристрою дозволить зловмиснику виконати блискавичний офлайн-брутфорс паролів. Додатковим ризиком є необхідність трансляції координат кривих у форму Монтгомері, що вимагає ідеального захисту від атак побічними каналами (Side-Channel).

Перенесення математики у C-код супроводжується небезпечною роботою з пам’яттю. Аналіз виявляє три основні вектори атак:

– баг криптографічного паддингу (mpz_export). Математична бібліотека GMP не додає нулі спереду, якщо згенероване число займає менше очікуваних 32 байтів. Це призводить до неправильного зміщення байтів (left-aligned) і

потрапляння в ключ неініціалізованого «сміття» з пам’яті (Memory Leak).

– ризик переповнення буфера (Buffer Overflow). Функції парсингу шістнадцяткових рядків (наприклад, hex_to_binary через sscanf) часто ігнорують перевірку меж пам’яті. Перевищення довжини вхідних даних ламає стек.

– транкація (обрізання) паролів. Склеювання логіна та пароля у буфер фіксованої довжини за допомогою snprintf призводить до «тихого» обрізання надто довгих облікових даних. Це створює колізії: різні довгі паролі з однаковим початком даватимуть валідний хеш.

Список використаних джерел

1. Paar, C., Pelzl, J., & Preneel, B. (2021). Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners (4th ed.). Springer.

2. Green, M. (2021). Practical Cryptography in Python: Learning Correct Cryptography by Example. No Starch Press.

3. Поліщук, М., Гринюк, С. (2020). Використання технології шифрування інформації для безпечної передачі в мережі. Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (39), 122-126. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-21.

4. Поліщук, М., Семенюк, О., Поліщук, Л., & Ломакін, М. (2023). Можливості авторизації та захисту даних користувача під час розробки хмарних веб-додатків для IoT. КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (52), 94-103. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-12.

5. Римчук, І., Костючко, С., Поліщук, М., Гринюк, С., & Конкевич, Л. (2024). Безпека комунікаційних процесів з використанням візуальної криптографії. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(26), 258–267. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.677 / URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/ journal/article/view/677

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Лєдок Марина Валеріївна
Комунальний заклад «Харківська гуманітарно-педагогічна академія» Харківської обласної ради, викладач кафедри інформатики, marinaledok1987@hgpakh.ukr.education

ENSURING CYBERSECURITY IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Liedok Maryna Valeriivna
Municipal establishment «Kharkiv humanitarian pedagogical academy» of Kharkiv regional council, lecturer at the department of computer science, marinaledok1987@hgpakh.ukr.education

The article analyzes the main cyber threats, including data leaks, phishing attacks, malware, DDoS attacks, and cyberbullying, and identifies the role of the human factor in cyber incidents. It outlines the main areas of cyber protection and justifies the need for a comprehensive approach that combines technical, organizational, and educational measures to ensure a safe digital educational environment.

Keywords: cybersecurity, cyber threats, digital education, information security.

Цифровізація освітнього середовища розширює можливості організації навчального процесу та водночас підвищує кіберризики. У цих умовах кібербезпека розглядається як комплекс організаційних, технічних і правових заходів, спрямованих на захист інформаційних ресурсів, цифрових технологій і користувачів. Вона забезпечує конфіденційність, цілісність і доступність даних як базові принципи безпечної цифрової інфраструктури [2]. Особливої актуальності набуває захист персональних даних учасників освітнього процесу та стабільність роботи освітніх платформ.

Сучасний освітній процес ґрунтується на використанні

цифрових технологій, зокрема систем управління навчанням, хмарних сервісів, онлайн-платформ і засобів електронної комунікації. Це зумовлює зростання кількості вразливостей і кіберзагроз, серед яких витоки даних, фішингові атаки, шкідливе програмне забезпечення, несанкціонований доступ і DDoS-атаки. Окрему групу становлять соціально-психологічні загрози – кібербулінг і соціальна інженерія.

Вразливість освітнього середовища зумовлена недостатнім рівнем цифрової компетентності користувачів, недосконалістю технічного захисту та відсутністю комплексного управління кібербезпекою. Вирішальну роль відіграє людський фактор: недотримання правил безпечної поведінки, використання слабких паролів і взаємодія з підозрілими повідомленнями підвищують ризик інцидентів. Це актуалізує формування навичок кібергігієни як складової професійної компетентності здобувачів освіти та педагогів.

Кібербезпека у сфері освіти виконує функцію забезпечення безперервності освітнього процесу та захисту інформаційних ресурсів від несанкціонованого доступу, модифікації чи знищення [2]. Порушення кібербезпеки може призводити до суттєвих наслідків, зокрема втрати або викрадення даних, фінансових збитків, зниження довіри до освітніх установ і цифрових платформ, а також психологічного тиску на учасників освітнього процесу. Таким чином, кібербезпека є однією з ключових умов стабільного функціонування цифрового освітнього середовища.

Сучасні підходи до забезпечення кібербезпеки передбачають її розгляд як багаторівневої системи. На мережевому рівні реалізується захист інформаційних мереж від зовнішніх атак і несанкціонованого доступу; на рівні даних забезпечується збереження конфіденційності та цілісності інформації; хмарна безпека спрямована на захист даних, що зберігаються у віддалених сервісах; безпека кінцевих пристроїв передбачає захист користувацького обладнання від шкідливих впливів. Важливим компонентом цієї системи є також формування кібергігієни та протидія соціальній інженерії, що

сприяє зниженню ризиків, пов’язаних із людським фактором.

Зростання ролі дистанційного та змішаного навчання підвищує вимоги до кіберзахисту через збільшення кількості точок доступу та потенційних загроз. Ефективна протидія кіберризикам потребує впровадження комплексної системи кібербезпеки, що передбачає політику інформаційної безпеки, багатофакторну автентифікацію, використання надійних паролів, оновлення програмного забезпечення, шифрування та резервне копіювання даних, а також моніторинг і реагування на інциденти [1].

Окрему увагу необхідно приділяти створенню безпечного комунікаційного середовища в освітніх платформах, що передбачає протидію кібербулінгу та маніпулятивним впливам. Забезпечення захисту від DDoS-атак досягається шляхом оптимізації серверної інфраструктури та використання сучасних засобів фільтрації трафіку. Важливим елементом системи кіберзахисту є також резервне копіювання даних, яке дозволяє відновити інформацію у разі її втрати або пошкодження.

Отже, забезпечення кібербезпеки у цифровому освітньому середовищі потребує системного багаторівневого підходу, що поєднує технічні, організаційні та освітні заходи. Його реалізація забезпечує створення безпечного й стійкого освітнього простору, здатного протидіяти сучасним кіберзагрозам і підтримувати ефективний навчальний процес.

Список використаних джерел

1. Савченко В., Маклюк О. Кібербезпека як фактор ефективності функціонування закладів вищої освіти. *Економіка та суспільство*. 2024. № 60. DOI : https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-24

2. Швардак М. Кібербезпека у цифровому освітньому просторі. *Науковий журнал Хортицької національної академії.* Серія: Педагогіка. Соціальна робота. 2025. Вип. 1(12). DOI : https://doi.org/10.51706/2707-3076-2025-12-2

МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО ШИФРУВАННЯ ДАНИХ НА ОСНОВІ КОЛІРНОГО МАРКУВАННЯ

Маркевич Назар Васильович
Луцький національний технічний університет, студент 1 курсу спеціальності F3 "Комп'ютерні науки",
nazarmarkevic7@gmail.com
Здолбіцька Ніна Василівна
Луцький національний технічний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри Комп'ютерних наук,
ninazdolb@gmail.com

METHODS OF VISUAL DATA ENCODING BASED ON COLOR MARKING

Markevych Nazar
LNTU, Student of "Computer Science", nazarmarkevic7@gmail.com
Zdolbitska Nina
LNTU, Associate Professor of the Department of Computer Science,
ninazdolb@gmail.com

The article describes the development of "UR Cipher", a software tool for visual data encryption using Python. The system converts text and digits into a sequence of colored blocks with unique identifiers. The application features a graphical user interface built with Tkinter and image generation using the Pillow library. The study focuses on the implementation of a custom substitution cipher and the automated creation of digital cryptographic maps for secure visual communication.

Keywords: Cryptography, Python, Tkinter, Pillow, UR Cipher, Data Visualization, Encryption, Visual Coding.

Інтеграція сучасних алгоритмів криптографії, програмних засобів реалізації та методів оцінювання безпеки визначає алгоритмічну базу та методи візуального приховування. Сучасні підходи до захисту візуальних даних фокусуються на швидкодії та стійкості до атак. У статті [1] запропоновано систему шифрування кольорових зображень на основі бінарних дерев для

підвищення швидкості обробки даних без втрати надійності. Стаття [2] присвячена аналізу методу візуальної криптографії як передового способу приховування даних за допомогою розділення секретного зображення на декілька складових частин, комбінація яких дозволяє відновити оригінальну інформацію (бінарну, у градаціях сірого або кольорову) безпосередньо людським зором без складних обчислень.

Стаття [3] пропонує дві інноваційні схеми візуальної криптографії на основі операції XOR, які дозволяють повністю відновлювати секретні кольорові зображення, використовуючи при цьому як безглузді частки, так і змістовні кольорові QR-коди, що піддаються зчитуванню стандартними декодерами та підвищують безпеку передачі даних. Для практичного впровадження криптографічних методів необхідне потужне інструментальне забезпечення. Теоретичні розробки візуального шифрування вимагають чітких метрик перевірки.

У праці [4] визначено показники ефективності систем захисту інформації для об’єктів критичної інфраструктури. Стаття [5] підсумовує сучасні досягнення в галузі криптографії, зокрема нові хаотичні системи шифрування, методи захисту мультимедійних даних та інноваційні підходи до гарантування інформаційної безпеки в цифрових системах. Аналіз джерел свідчить про перехід від класичних текстових шифрів до складних візуальних систем, де поєднання алгоритмів бінарних дерев, колірного приховування та сучасних засобів програмування дозволяє створити стійкі механізми захисту інформації.

У даному дослідженні використано методику кодування використання колірних маркерів для захисту інформації є ефективним методом візуальної криптографії.

Для забезпечення унікальності кожного символу шифрувального блоку було застосовано дворівневу систему ідентифікації. Перший рівень – це колірний маркер (Color Index), який визначається залишком ділення порядкового номера символу на кількість доступних кольорів (7 кольорів веселки). Другий – ідентифікатор групи, який дозволяє розрізняти символи,

що мають однаковий колір за регістром (Upper/Lower) або цифровою належністю. Покажемо наші зашифровані символи на прикладі (табл. 1).

Таблиця 1. Мова символів шифрування

Колір	RGB значення	Група	Символи (наприклад)
Red	(255, 0, 0)	U0/L4/D0	A, a, 0
Orange	(255, 165, 0)	U0/L4/D0	B, b, 1
Yellow	(255, 255, 0)	U1/L5/D1	H,h,7
Violet	(0, 120, 255)	U2/L6/D1	P, p, 9

Візуальну складову графічного інтерфейсу програми було розроблено за допомогою бібліотеки “Tkinter” [2]. Головне вікно містить поле введення/виведення тексту та функціональні кнопки шифрування/дешифрування та динамічне поле результату (рис. 1).

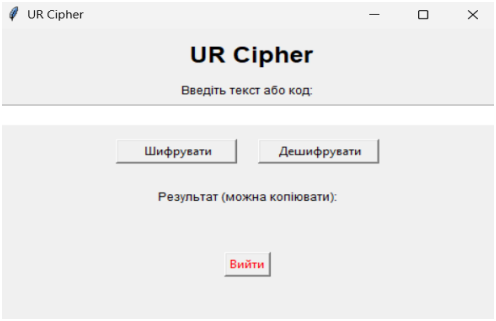


Рисунок 1. Візуал програми

Робота з графікою та експорт даних: генерація зображення відбувається моментально за допомогою модуля ImageDraw. Програма автоматично обчислює розмір полотна png файлу, залежно від довжини введеного повідомлення. Результат зберігається у зручному для використання форматі png (рис. 2). Це дозволяє використовувати шифр у месенджерах, електроних листах, тощо [3].

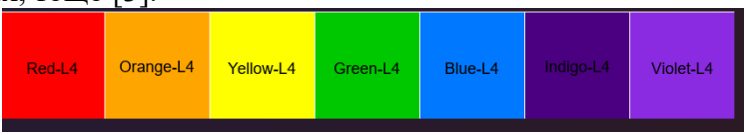


Рисунок 2. Приклад шифру

Висновок: у ході роботи створено унікальну шифрувальну програму, яка працює шляхом кодування кольорів. Такий підхід забезпечив нестандартний спосіб шифру та захист для передавання інформації. Розроблена програма демонструє можливість поєднання шифру в текстовому та відповідно, графічному вигляді.

Список використаних джерел

1. Marwa A. Elmenyawi, Nada M. Abdel Aziem, Ayman M. Bahaa-Eldin, Efficient and Secure Color Image Encryption System with Enhanced Speed and Robustness Based on Binary Tree, Egyptian Informatics Journal, Volume 27, 2024. P. 100487. https://doi.org/10.1016/j.eij.2024.100487.

2. T. Mittal and S. Christa. Visual Cryptography: A Detailed Analysis. 2022 Fourth International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP), Bengaluru, India, 2022. P. 1-5. doi: 10.1109/CCIP57447.2022.10058629.

3. Jeng-Shyang Pan, Tao Liu, Hong-Mei Yang, Bin Yan, Shu-Chuan Chu, Tongtong Zhu, Visual cryptography scheme for secret color images with color QR codes, Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 82, 2022. P. 103405. https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103405.

4. Козубцова Л.М., Козубцов І.М., Здолбіцька Н.В., Кошелюк В.А. Показники ефективності функціонування системи захисту інформації і кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. *Науковий журнал* «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». *Луцьк, 2022. Випуск № 48. 2022. С. 64-69.* https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-10

5. El Assad, S., Lozi, R., & Puech, W. (2022). Special Issue on Cryptography and Its Applications in Information Security. *Applied Sciences*, *12*(5), 2588. https://doi.org/10.3390/app12052588.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ РИЗИКУ ВИТОКУ ДАНИХ В AI-ІНТЕГРОВАНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМАХ

Марценюк Євгеній Віталійович
Національний університет «Львівська політехніка», асистент кафедри Захисту Інформації, yevhenii.v.martseniuk@lpnu.ua

FORMALIZING DATA LEAKAGE RISK MODELS IN AI-INTEGRATED CLOUD SYSTEMS

Martseniuk Yevhenii
Lviv Polytechnic National University, Department of Information Protection, yevhenii.v.martseniuk@lpnu.ua

The rapid adoption of Large Language Models (LLMs) and generative AI in enterprise cloud environments is creating a new attack surface for sensitive data leakage. Industry reports indicate that over 69% of cloud-adopting organizations have experienced data loss incidents. The integration of AI components, including LLM-based agents and RAG pipelines, complicates traditional access control by enabling aggregation and inference of sensitive information. Prior research shows that LLMs may reproduce fragments of training data, including confidential content, while emerging threats such as inference and model inversion attacks remain insufficiently addressed. This highlights the urgent need for advanced risk assessment approaches tailored to AI-driven cloud environments.

Keywords: data leakage, cloud security, large language models, LLMs, risks modeling, Zero Trust, DLP, FAIR, prompt injection.

Актуальність теми

Стрімке впровадження великих мовних моделей (Large Language Models, LLM) та генеративних AI-сервісів у корпоративних хмарних середовищах формує принципово нову поверхню атаки для несанкціонованого витоку конфіденційних даних. За даними аналітичних звітів галузі, понад 69% організацій, що мігрували до хмари, зафіксували щонайменше один інцидент з витоком або втратою даних [1]. Інтеграція AI-компонентів - зокрема, LLM-агентів, RAG-пайплайнів (Retrieval-

Augmented Generation) та автономних AI-асистентів - суттєво ускладнює традиційні моделі контролю доступу, оскільки ці системи здатні агрегувати, узагальнювати та передавати чутливу інформацію у відповідь на сформульовані запити.

Дослідження Carlini et al. [2] довело, що із великих мовних моделей можливо вилучити вербатим-фрагменти тренувальних даних, включаючи персональну інформацію, облікові дані та комерційні секрети. Поряд із цим, Das et al. [3] систематизували загрози приватності LLM-систем - від атак на приналежність до вибірки (membership inference) до інверсії моделі (model inversion) - жодна з яких не покривається класичними фреймворками оцінювання ризиків витоку даних. Таким чином, існуючий розрив між швидкістю впровадження AI в хмарну інфраструктуру та зрілістю формальних ризик-моделей, адаптованих до цього контексту, визначає актуальність запропонованого дослідження.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка формалізованої багаторівневої моделі ризику витоку даних (Data Leakage Risk Model, DLRM) для хмарних середовищ з інтегрованими AI-компонентами, яка враховує специфічні вектори загроз LLM-систем і є сумісною з чинними стандартами управління інформаційною безпекою (ISO/IEC 27001, NIST SP 800- 53, CSA CCM). Досягнення цієї мети передбачає: (а) таксономізацію AI-специфічних сценаріїв витоку даних у хмарних середовищах; (б) формальний опис ризик-вектора з використанням математичного апарату теорії ймовірностей та кількісної оцінки кіберризиків; (в) розробку архітектурної схеми компенсуючих контролів на основі принципів Zero Trust та DLP-інструментарію.

Методологія дослідження

Дослідження ґрунтується на комбінованому підході, що поєднує теоретичну формалізацію та практичну валідацію. На теоретичному рівні застосовується методологія кількісної оцінки кіберризиків FAIR (Factor Analysis of Information Risk) у поєднанні з фреймворком тактик та технік MITRE ATT&CK. Ellerhold et al. [4] продемонстрували ефективність такого поєднання для симуляції подій втрат за допомогою методу Монте-

Карло, що дозволяє отримувати чисельні оцінки ймовірності та фінансового впливу інцидентів витоку даних.

Модель ризику DLRM формалізується у вигляді вектора R = (T, V, E, I), де T - множина AI-специфічних загроз (prompt injection, training data extraction, model inversion, shadow AI), V - вектор вразливостей хмарної архітектури, E - ймовірність експлуатації вразливості з урахуванням наявних контролів, I - потенційний вплив інциденту у фінансових та репутаційних одиницях. Систематичне картування методологій оцінки ризиків у хмарних середовищах, проведене Annunziata et al. [1], підтверджує відсутність стандартизованих підходів, орієнтованих саме на AI-компоненти, що обґрунтовує новизну запропонованої формалізації.

На практичному рівні проводиться аналіз реальних конфігурацій хмарних середовищ (AWS, GCP, Azure) з розгорнутими LLM-сервісами та DLP-інструментами (Cyberhaven, Zscaler). Herrera Montano et al. [5] встановили, що шифрування та машинне навчання є найефективнішими техніками в сучасних DLP-системах, що враховується при проєктуванні архітектури компенсуючих контролів. Для верифікації ефективності запропонованої моделі використовується набір сценаріїв атак, змодельованих на основі реальних інцидентів витоку через AI-сервіси у 2022–2024 рр.

Основні результати

У результаті дослідження розроблено чотирирівневу таксономію AI-специфічних загроз витоку даних у хмарних середовищах: (L1) витік через модель - вилучення тренувальних даних, атаки membership inference; (L2) витік через інтерфейс - prompt injection, jailbreaking, несанкціоноване розкриття системних інструкцій; (L3) витік через інтеграцію - несанкціонований доступ через RAG-пайплайни, зловживання function calling та MCP-протоколами (Model Context Protocol); (L4) витік через тіньову AI - використання несанкціонованих зовнішніх SaaS AI-інструментів (ChatGPT, DeepSeek, Cursor) для обробки корпоративних даних. Das et al. [3] підкреслюють, що загрози рівнів L1–L2 залишаються найменш охопленими

засобами захисту в корпоративних хмарних платформах.

Формальна модель DLRM валідована на корпусі з 47 задокументованих AI-пов'язаних інцидентів витоку даних (2022–2024 рр.) та показала точність класифікації рівня ризику 84,7% порівняно з ретроспективними оцінками. Запропонована архітектура компенсуючих контролів базується на принципах Zero Trust (ZTA). Syed et al. [6] у комплексному огляді ZTA підтверджують, що мікросегментація та автоматизоване обчислення рівня довіри є ключовими механізмами для обмеження латерального руху даних в AI-інтегрованих середовищах. Додатково, Cao et al. [7] визначили автоматизаціюZTA на основі ML як перспективний напрям для динамічного реагування на AI-специфічні загрози в реальному часі.

Висновки та практична значущість

Запропонована формалізована модель DLRM заповнює критичний методологічний пробіл між традиційними фреймворками оцінювання ризиків інформаційної безпеки та новими векторами загроз, породженими масовим впровадженням AI в хмарну інфраструктуру. На відміну від існуючих підходів, модель явно враховує специфіку LLM- систем - зокрема, недетермінованість їхньої поведінки, ймовірність мимовільного розкриття даних через генеративні відповіді та ризики, пов'язані з тіньовим використанням AI-інструментів.

Практична значущість дослідження полягає у наданні організаціям відтворюваного та кількісно вимірюваного інструменту для: (а) приоритизації контролів безпеки у хмарних середовищах з AI-компонентами; (б) відповідності вимогам регуляторних стандартів (ISO/IEC 27001, GDPR, NIS2) в контексті AI-обробки даних; (в) побудови архітектури DLP другого покоління, яка інтегрує класичні механізми запобігання витокам з AI-орієнтованими детекторами аномальної поведінки. Модель може бути імплементована як складова частина систем CSPM (Cloud Security Posture Management) для безперервного моніторингу ризик-профілю хмарного середовища.

Список використаних джерел

1. Annunziata G., Sheykina A., Palomba F., De Lucia A., Catolino G., Ferrucci F. Security Risk Assessment on Cloud: A Systematic Mapping Study // Proc. 28th Int. Conf. on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE 2024). - ACM, 2024. - P. 604–613. DOI: 10.1145/3661167.3661287.

2. Carlini N., Tramèr F., Wallace E., Jagielski M., Herbert-Voss A., Lee K., Roberts A., Brown T., Song D., Erlingsson Ú., Oprea A., Raffel C. Extracting Training Data from Large Language Models // 30th USENIX Security Symposium (USENIX Security '21). - 2021. - P. 2633–2650. URL: https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity21/presentation/carlini-extracting.

3. Das B. C., Amini M. H., Wu Y. Security and Privacy Challenges of Large Language Models: A Survey // ACM Computing Surveys. - 2024. - Vol. 57. - Article 111. - P. 1–39. DOI: 10.1145/3712001.

4. Ellerhold C., Schnagl J., Schreck T. Enterprise Cyber Threat Modeling and Simulation of Loss Events for Cyber Risk Quantification // Proc. ACM Cloud Computing Security Workshop (CCSW'23), co-located with ACM CCS 2023. - 2023. DOI: 10.1145/3605763.3625244.

5. Herrera Montano I., García Aranda J. J., Ramos Diaz J., Molina Cardín S., de la Torre Díez I., Rodrigues J. J. P. C. Survey of Techniques on Data Leakage Protection and Methods to address the Insider Threat // Cluster Computing. - Springer, 2022. - Vol. 25. - P. 4289–4302. DOI: 10.1007/s10586-022-03668-2.

6. Syed N. F., Shah S. W., Shaghaghi A., Anwar A., Baig Z., Doss R. Zero Trust Architecture (ZTA): A Comprehensive Survey // IEEE Access. - 2022. - Vol. 10. - P. 57143–57179. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3174679.

7. Cao Y., Pokhrel S. R., Zhu Y., Doss R., Li G. Automation and Orchestration of Zero Trust Architecture: Potential Solutions and Challenges // Machine Intelligence Research. - Springer, 2024. - Vol. 21. - P. 294–317. DOI: 10.1007/s11633-023-1456-2.

СТОП-ЛОСС ТА ТЕЙК-ПРОФІТ, ЯК ІНСТРУМЕНТИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Міскевич Оксана Іванівна
Луцький національний технічний університет, старший викладач кафедри кібербезпеки, o.miskevych@lntu.edu.ua
Дехтярчук Артур Хачатурович,
Луцький національний технічний університет, бакалавр кафедри комп'ютерної інженерії та охоронних систем
arturdekhtiarchuk@gmail.com

STOP-LOSS AND TAKE-PROFIT AS RISK MANAGEMENT TOOLS

Oksana Miskevych
Lutsk National Technical University, Senior Lecturer at Department of Cybersecurity, o.miskevych@lntu.edu.ua
Arthur Dekhtyarchuk ,
Lutsk National Technical University, bachelor at Department of Computer Engineering and Security Systems
arturdekhtiarchuk@gmail.com

This article examines the main methods that are widely used for analyzing the dynamics of cryptocurrencies. One of the most convenient and visual tools for analyzing price fluctuations is candlestick charts, which are widely used in financial analysis. They allow tracking price changes over time, detecting trends, market sentiment, and signals for buying or selling assets. Charts help identify trend phases and possible reversal points; determine the real value of cryptocurrency and its potential for growth and decline.

Keywords: cryptocurrency market; Japanese candlesticks; price.

У фінансовому середовищі криптовалюти відіграють вагому роль в інвестиціях, торгівлі та технологічних інноваціях.

Стоп-лосс (Stop-Loss) та тейк-профіт (Take-Profit) є важливими інструментами управління ризиками, які допомагають зберегти депозит та вчасно закрити прибуток або

збиток в угоді за потрібними цінами. Stop-Loss – біржовий ордер, який автоматично закриває збиткову позицію при досягненні певного рівня ціни [1]. Він обмежує потенційні втрати й дозволяє трейдеру контролювати ризики. Стоп-лосс можна встановити при відкритті угоди, щоб наперед визначити максимально допустимий збиток, що особливо важливо для трейдерів, які не можуть постійно відстежувати ринок. Take-Profit – біржовий ордер, який фіксує прибуток при досягненні певного рівня ціни [2].

Ризик-менеджмент – процес контролю того, скільки трейдер готовий втратити, якщо ціна піде проти нього [3]. Співвідношення ризику до прибутку зазвичай коливається залежно від стратегії Наприклад, якщо прибуток буде у два рази більше, ніж ризик (2:1), то достатньо виграти лише 40% угод, щоб бути у вигідному становищі (табл. 1).

Таблиця 1.Співвідношення ризику до прибутку та відсоток виграшу

Співвідно-шення ризику до прибутку	20%	30%	40%	50%	60%
1:1	Not Profitable	Not Profitable	Not Profitable	Break Even	Profitable
2:1	Not Profitable	Not Profitable	Profitable	Profitable	Profitable
3:1	Not Profitable	Profitable	Profitable	Profitable	Profitable
4:1	Break Even	Profitable	Profitable	Profitable	Profitable
5:1	Profitable	Profitable	Profitable	Profitable	Profitable

Детальну інформацію для трейдингу ми можемо отримати використовуючи японські свічки – відображення руху ціни на графіку та аналіз поведінки ринку. Це допомагає знаходити точки входу-виходу, бачити тренд, ставити тейк-профіт та стоп-лосс. Зелена свічка показує, що ціна виросла: відкрилась знизу, піднялася вгору – це максимум, опустилась вниз – це мінімум.

Тіло свічки показує рух від відкриття до закриття. Тіні показують, наскільки далеко ціна ходила вгору та вниз. Червона свічка працює навпаки – відкрилась вгорі та закрилась внизу. Свічки будуть показувати різну інформацію в залежності від обраного таймфрейму (інтервалу часу). Для початку потрібно визначити, яким об'ємом ми готові ризикнути. Розглянемо на прикладі ставки 1000 $ (рис.1).

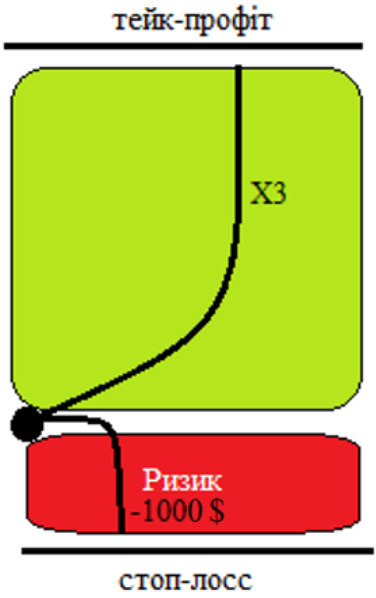


Рисунок 1. Приклад розрахунку обсягу позиції стоп-лоссу та тейк-профіту

Це означає, що якщо ми входимо в ринок у початковій точці, нам потрібно встановити стоп-лосс так, щоб при зниженні ціни до певного рівня наш збиток складав 1000 $. Таким чином, ми одночасно знаємо, що якщо ціна пройде вгору на відстань у 3 рази більшу, ніж до нашого стоп-лосса, то ми отримаємо прибуток у 3 рази більше, перевищуючи наш ризик. До прикладу, візьмемо, що наш актив коштує 1575 $, і ми хочемо ризикнути рівно на 1000 $. Ціна входу – 1575, а рівень стоп-лосс – 1500. Віднімаємо з ціни входу значення стоп-лоссу: 1575 - 1500 = 75 $. Збиток з 1 одиниці буде 75 $. А загальний ризик складе 48 $. У трейдингу зазвичай

ризикують 1-5%. Тепер беремо ту суму, якою готові ризикнути – 1000 $, та ділимо її на 3. Отримуємо приблизно 330 одиниці активу, які можемо купити. Це гарантує, що якщо ціна піде проти нас, ми обмежимо збиток сумою 1000 $. Будуємо тейк-профіт. Якщо загальний ризик склав 48 $, тоді при співвідношенні 1:3 прибуток буде рівний 144 $ – угода автоматично закриваються в плюс, а тейк-профіт рівний 1802$. Таким чином ми точно знаємо, чого очікувати як у випадку, якщо ціна піде проти нас, так і у випадку, якщо ціна піде в нашу сторону.

Отже, використання стоп-лосс та тейк-профіт підвищують ймовірність успішних угод у поєднанні з аналізом ринку. Ордери залишаються основними інструментами управління позиціями в трейдингу та дотриманням ризиків.

Список використаних джерел

1. Що таке японські свічки, як читати? URL: https://crew-c.com/blog/shho-take-yaponski-svichky-yak-chytaty.

2. Стоп-лосс і тейк-профіт: як працюють і як їх правильно налаштувати. URL: https://lnk.ua/hFJn03v2d

3. Як зробити торгову стратегію? URL: https://surl.li/ajxfte

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КІБЕРЗАГРОЗ У БАНКІВСЬКО-ФІНАНСОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ

Могілей Сергій Олександрович
Приватний заклад вищої освіти
«Східноєвропейський університет імені Рауфа Аблязова»,
доцент кафедри економіки, маркетингу, обліку і оподаткування,
к.т.н., sergiymogiley@gmail.com
Терновий Євген Ігорович
Фаховий коледж Приватного закладу вищої освіти
«Східноєвропейський університету імені Рауфа Аблязова»,
викладач, evgenternovij@gmail.com

MODELING AND PREDICTION OF CYBER THREATS IN BANKING AND FINANCIAL INFORMATION SYSTEMS USING NEURAL NETWORK ANALYSIS

Mogilei Sergii Oleksandrovych
Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department
of Economics, Marketing, Accounting and Taxation,
Private Higher Education Institution
«Rauf Ablyazov East European University»,
sergiymogiley@gmail.com
Ternovyi Yevhen Ihorovych
Professional College of Private Higher Education Institution
«Rauf Ablyazov East European University», Lecturer,
evgenternovij@gmail.com

The paper addresses modeling and forecasting of cyber threats in banking and financial information systems. Methods of time series analysis and neural network modeling are applied to predict cyber attack intensity. A logistic Bernoulli intensity function, logit regression, decision tree, and neural network models are compared. The neural network demonstrated the highest accuracy for cyber threat detection in banking transactions.

Keywords: cybersecurity, neural networks, time series, cyber threat prediction, banking security, information protection.

В умовах зростання кількості кіберзагроз, зокрема в контексті воєнного стану в Україні, забезпечення інформаційної безпеки банківсько-фінансових систем є критично важливим завданням. За даними Держспецзв'язку, кількість кібератак на фінансові установи України суттєво зросла починаючи з 2022 року, що обумовлює необхідність розробки ефективних інструментів прогнозування та попередження кіберзагроз. Метою даного дослідження є розробка та порівняльний аналіз математичних моделей прогнозування обсягу кіберзагроз для систем захисту банківсько-фінансових модулів інформаційних систем.

Моделі прогнозування поділяють на дві категорії: моделі доменів та моделі часових рядів, останні є універсальними для різних предметних областей [1]. Аналіз часових рядів — сукупність математико-статистичних методів для виявлення структури та прогнозування [2], що дозволяє ефективно приймати рішення щодо заходів безпеки банківських установ. Найпоширенішими методами є спектральний і кореляційний аналіз, моделі авторегресії (ARIMAX) та нейромережеві моделі (ANN); можливе їх поєднання — нейромережа для кластеризації даних, ARIMA для безпосереднього прогнозу [3]. До моделі висуваються вимоги адекватності, точності, оперативності та практичної застосовності результатів. Серед різновидів кібератак окремо виділяють таргетовані APT-атаки, які класифікуються за чотирма групами: мережева інфраструктура, рівень виправлень, конфігурація сервера та стандартне програмне забезпечення.

Аналіз вразливостей мережевої інфраструктури фінансових систем показав, що основні вектори атак зосереджені на трьох рівнях: канальному (ARP-фальсифікація, переповнення MAC), мережевому/транспортному (маніпуляції з протоколами BGP, OSPF, TCP/IP) та рівні конфігурації сервера (використання облікових записів за замовчуванням, незашифровані дані), а також на рівні програмного забезпечення — обхід автентифікації, SQL-ін'єкції, XSS та злом шифрування [4]. Оскільки протокол IP не має механізмів перевірки достовірності даних, це дозволяє перехоплювати або змінювати їх під час передачі між пристроями.

Ефективне управління кібербезпекою банків потребує регулярних аудитів та методів прогнозування інтенсивності кібератак [3].

Представимо модель оцінки ризиків за допомогою опитування групи експертів, де r_i — рівень і-го ризику, x_i — логічна змінна нейтралізації, a_i — витрати, S — бюджет:

$$\sum_{i=1}^{I} r_i x_i \to max,$$

$$\sum_{i=1}^{I} a_i x_i \le S,$$

Аналітична функція інтенсивності кібератак $I_K(t)$ на систему інтернет-банкінгу університету задовольняє нелінійному диференціальному рівнянню Бернуллі [6]:

$$I_K(t) - \zeta * I_K(t) = -\zeta * (I_K(t)_{Max})^{-1} * I_K^2(t), I_K(0) = I_{K_0},$$

де $I_K(t)_{Max}$ – максимально можливий рівень функції інтенсивності кібератак;

$$I_K(t) = \frac{I_K(t)_{Max}}{1 + \left(\frac{I_K(t)_{Max} - I_{K_0}}{I_{K_0}}\right) * e^{-\zeta t}}$$

Для побудови нейромережевої моделі виділено чотири ознаки підозрілих транзакцій: географія (ініціювання з іншої країни), тип пристрою, тип транзакції та обнуління рахунку як ознака несанкціонованого доступу.

Нейромережева модель враховує 8 факторів: місцерозташування ($X_{3.2}$), баланс до (X_6) та після (X_5) транзакції, суму (X_1), тип пристрою ($X_{2.2}$) та типи операцій ($X_{7.1}$–$X_{7.4}$).$_{3.2}$); баланс клієнта після проведення транзакції (X_5) та до проведення (X_6); загальна сума транзакції (X_1); тип пристрою – інтернет-банкінг ($X_{2.2}$); типи транзакцій – поповнення коштів ($X_{7.1}$), зняття коштів ($X_{7.2}$), списання коштів з рахунку ($X_{7.3}$), проведення оплати ($X_{7.4}$).

Для вибору найточнішої моделі порівняно три підходи за часткою неправильної класифікації (MISC) та середньоквадратичною похибкою (MSE) на навчальній і

валідаційній вибірках. Найточнішою виявилась нейромережева модель з найнижчими значеннями частки неправильної класифікації та середньоквадратичної похибки; її інтеграція в систему кіберзахисту банку забезпечить регулярний моніторинг транзакцій та підвищення рівня захищеності клієнтів мобільного та інтернет-банкінгу.

В результаті дослідження розроблено комплекс моделей прогнозування кіберзагроз у банківсько-фінансових інформаційних системах. Аналітична функція інтенсивності кібератак на основі рівняння Бернуллі та логістичної кривої дозволяє прогнозувати динаміку загроз між аудиторськими перевірками. Розроблена нейромережева модель виявлення ознак кіберзагроз у банківських транзакціях забезпечила найвищу точність порівняно з логіт-регресією та деревом рішень: частка неправильної класифікації склала 0,00002 на валідаційній вибірці, що підтверджує практичну придатність моделі для систем захисту інформації фінансових установ. Запропонований підхід може бути інтегрований у систему кіберзахисту банківських установ для автоматизованого моніторингу транзакцій та раннього виявлення кіберзагроз, що набуває особливої актуальності в умовах воєнного стану та зростання кількості кібератак на фінансову інфраструктуру України.

Список використаних джерел

1. Перерва А.С. Порівняльний аналіз методів прогнозування стаціонарних та нестаціонарних часових рядів. *Науковий огляд*. 2018. №3 (46). С. 56–64.

2. Зубок В.Ю. Ретроспективний аналіз інцидентів кібербезпеки, пов’язаних з атаками на глобальну маршрутизацію. С. 42–49.

3. Шуклін Г.В., Правдивий А.М. Динамічна модель діагностики станів кіберзахисту систем інформатизації з використанням Fuzzy-технологій. *Сучасний захист інформації*. 2019. № 2(38). С. 17–24.

4. Савченко В.А., Мацько О.Й., Легомінова С.В. Моделювання кібератак засобами теорії графів. *Сучасний захист інформації*. 2019. № 4(40). С. 6–11.

ПОШУК ОБОРОТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ГРУПОВИХ КІЛЬЦЯХ НАД КІЛЬЦЕМ ЦІЛИХ ЧИСЕЛ

Оберишин Роксолана Ростиславівна
Національний університет «Львівська політехніка», старша викладачка ЗВО, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, roksoliana.r.oberyshyn@lpnu.ua
Попович Роман Богданович
Національний університет «Львівська політехніка», доктор фізико-математичних наук, професор, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, roman.b.popovych@lpnu.ua

FINDING OF UNITS IN GROUP RINGS OVER RING OF INTEGERS

Roksolana Oberyshyn
Lviv Politechnic National University, Senior Lecturer, Department of Specialized Computer Systems, roksoliana.r.oberyshyn@lpnu.ua
Roman Popovych
Lviv Politechnic National University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Specialized Computer Systems, roman.b.popovych@lpnu.ua

The problem of finding units in group rings, specified by the ring of integers and a finite group, is considered. Such elements can be used in the construction of post-quantum cryptosystems. Two directions for obtaining the mentioned elements are highlighted: explicit writing with proof of invertibility and the method of mapping the elements of the group ring into a simpler ring.

Сучасні системи захисту інформації базуються на обчислювально складних задачах, зокрема на проблемі дискретного логарифму у відповідно вибраних скінченних абелевих групах. Однак розвиток квантових обчислень та алгоритм Шора ставлять під загрозу стійкість класичних криптосистем (Діффі-Геллмана, Ель-Гамаля, ECC), оскільки згадані задачі зможуть бути розв'язані за поліноміальний час.

Одним із перспективних напрямків постквантової

криптографії є використання групових кілець [1].

Групові кільця $R[G]$ – це алгебраїчні структури, які задають використовуючи довільні кільце з одиницею та групу. Вони складаються з многочленів, коефіцієнтами яких є елементи кільця R, а як змінні виступають елементи групи G. . На сьогодні невідомий жодний квантовий алгоритм, який би ефективно вирішував проблему дискретного логарифму в мультиплікативній групі оборотних елементів групового кільця $U(R[G])$ [1].

У роботах [2, 3] запропоновано підхід, який дозволяє знаходити оборотні елементи великого порядку у групових кільцях, заданих довільним скінченним полем та скінченною циклічною або діедральною групою. Це можна зробити з використанням розкладу групового кільця в пряму суму простіших кілець і підрахунку кількості оборотних елементів у початковому кільці.

У цій роботі розглядаємо знаходження оборотних елементів для групових кілець над кільцями цілих чисел [4]. Метою роботи є систематизація методів знаходження оборотних елементів кільця $Z[G]$, тобто групи $U(Z[G])$, яка є нескінченною. Це дозволяє перейти від скінченних до нескінченних множин, що може значно підвищити криптографічну стійкість. На відміну від групових кілець над скінченними полями, де застосовується теорема Веддерберна, кільце $Z[G]$, не є напівпростим. Це значно ускладнює як теоретичний опис, так і алгоритмічний пошук оборотних елементів.

Аналіз публікацій показав, що є два підходи до отримання оборотних елементів у групових кільцях $Z[G]$. Певні з цих методів працюють лише для цілочисельних групових кілець, а інші можна також застосовувати і для ширшого класу групових кілець.

Перший підхід – це явний запис елемента групового кільця у певній формі, яка дає можливість довести його оборотність [1, 4, 5].

Прикладами є циклічні оборотні елементи Баса (Bass cyclic units)

$$u = (1 + g + g^2 + ... + g^{i-1})^{\varphi(n)} + \hat{g}(1 - i^{\varphi(n)})/n$$

та біциклічні оборотні елементи (bicyclic units)

$$u = 1 = (g-1)h\hat{g},$$

де g, h – певні елементи групи G, порядок елемента g дорівнює n, φ – функція Ейлера, а елемент $\hat{g}$ отримують згідно з таким виразом:

$$\hat{g} = 1 + g + g^2 + ... + g^{n-1}.$$

Другий підхід (метод зображень) полягає у розгляді відображень зі складного групового кільця в простіше кільце (зазвичай кільце цілих чисел) [4].

В одному варіанті йдеться про гомоморфізм кілець із $Z[G]$ в Z, який кожному елементу групового кільця ставить у відповідність суму його цілочисельних коефіцієнтів. У цьому разі використовують той факт, що образ оборотного елемента знову є оборотним елементом. В результаті маємо необхідну умову оборотності елемента групового кільця [6].

В іншому варіанті елементу $Z[G]$ ставлять у відповідність цілочисельну матрицю, кожен рядок якої відповідає результату множення елемента на один із базисних елементів групи G. Це дає необхідну і достатню умову оборотності. Більш детально, елемент групового кільця є оборотним тоді і тільки тоді, коли визначник його матричного зображення дорівнює числу 1 або -1 (ці два значення вичерпують оборотні елементи кільця цілих чисел Z) [7].

Разом з тим питання опису властивостей отриманого оборотного елемента залишається недостатньо вивченим. Йдеться про те, що треба визначити: це елемент нескінченного чи скінченного порядку, а в останньому випадку ще й знайти (оцінити) цей порядок. Також суттєвою є відповідь на питання, як користуватися елементами великого порядку при реалізації криптографічних примітивів. Справа в тому, що при обчисленні степенів елемента абсолютна величина його цілочисельних коефіцієнтів суттєво збільшується.

Список використаних джерел

1. Mittal G., Kumar Sunil, Narain S., Kumar Sandeep (2022). Group ring based public key cryptosystems. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 25(6), 1–22. https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.07262.

2. Bershchanskyi Y., Oberyshyn R., Popovych R. (2025). High Order Units in Group Rings Given by Finite Field and Cyclic Group. IEEE 13th International Conference IDAACS, 13(1), 91-95. https://doi.org/10.1109/IDAACS68557.2025.11321940.

3. Oberyshyn R., Popovych R. (2025). High Order Units in Group Rings Specified by Finite Field and Dihedral Group. Journal of Advances in Cyber-Physical Systems, 10(2), 168-172. https://doi.org/10.23939/acps2025.02.168.

4. Milies C.P., Sehgal S.K. (2002). An Introduction to Group Rings, Kluwer Academic Publishers, 371.

5. Küsmüş Ö., Hanoymak T. (2022). A novel public-key encryption scheme based on Bass cyclic units in integral group rings. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptograph, 25(2), 579–589. https://doi.org/10.1080/09720529.2020.1756042.

6. Hurley T. (2018). Representations of Group Rings and Groups. International Journal of Group Theory, 7(2),31-44. https://doi.org/10.22108/ijgt.2017.21484.

7. Hurley B., Hurley T. (2006). Group rings and rings of matrices. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 31(3), 319-335. https://mail.ijpam.eu/contents/2006-31-3/4/4.pdf.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ПОШУКУ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ РАДІОЗАКЛАДНИХ ПРИСТРОЇВ У ВИСОКОЗАШУМЛЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Поліщук Микола Миколайович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки, polishchuk.kolia@gmail.com
Саміла Андрій Петрович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, д.т.н, професор, завідувач кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, a.samila@chnu.edu.ua

RESEARCH ON THE METHODOLOGY FOR DETECTING AND NEUTRALIZING RADIO SURVEILLANCE DEVICES IN A HIGHLY NOISY ENVIRONMENT

Polishchuk Mykola
Lutsk National Technical University, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Cybersecurity, polishchuk.kolia@gmail.com
Samila Andriy Petrovych
Chernivtsi National University named after Yu. Fedkovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Information Security, a.samila@chnu.edu.ua

This paper examines the problem of detecting and neutralizing radio surveillance devices in a highly noisy electromagnetic environment. The relevance of using an integrated approach combining spectrum monitoring, SDR technologies, radio signal parameter analysis, adaptive threshold estimation, and anomaly detection methods is substantiated. Particular attention is paid to the complexity of identifying hidden transmitters among legitimate radio emission sources, as well as to the need for further localization and safe neutralization of detected threats.

Keywords: radio surveillance devices, technical information protection, spectrum monitoring, highly noisy environment, SDR, radio frequency spectrum, anomaly detection, threat neutralization.

У сучасних умовах захист інформації не обмежується лише

програмними засобами кібербезпеки, оскільки значна частина загроз може реалізовуватися через технічні канали витоку інформації. Одним із таких каналів є несанкціоноване використання радіозакладних пристроїв, які здатні передавати мовну, акустичну або іншу службову інформацію за допомогою радіочастотного випромінювання. Особливо складною є задача їх виявлення у високозашумленому середовищі, де одночасно працюють Wi-Fi, Bluetooth, мобільні мережі, IoT-пристрої, охоронні системи, бездротові гарнітури та інші джерела електромагнітних сигналів. У таких умовах традиційне виявлення за рівнем потужності сигналу або за фіксованими порогами не завжди забезпечує достатню точність.

Проблема полягає в тому, що радіозакладний пристрій може працювати короткими сеансами, змінювати частоту передавання, маскуватися під легальні бездротові пристрої або використовувати слабкий рівень випромінювання. Це ускладнює його ідентифікацію серед великої кількості фонових сигналів. Сучасні дослідження у сфері спектрального моніторингу показують, що в динамічному та шумонасиченому електромагнітному середовищі підходи, засновані лише на фіксованих порогах, евристичних правилах або заздалегідь заданих статистичних припущеннях, є недостатньо ефективними. Тому актуальним є розроблення методики, яка поєднує спектральний аналіз, адаптивне порогове оцінювання, машинне навчання та етапи локалізації джерела підозрілого випромінювання.

У дослідженні О. Білик, О. Мартинчук та Ю. Жуги, присвяченому виявленню радіочастотної активності БПЛА, показано ефективність застосування перетворення Фур'є, вейвлет-аналізу, оцінювання спектральної щільності потужності, класифікації модуляцій та виявлення аномалій у складних і змінних радіоумовах [1]. Такі підходи можуть бути адаптовані і до задачі пошуку радіозакладних пристроїв, оскільки в обох випадках необхідно відокремити корисний або підозрілий сигнал від фонових завад.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із застосуванням машинного навчання для виявлення аномалій у радіочастотному спектрі. У працях [2, 3] розглядаються Isolation Forest,

Autoencoder, One-Class SVM, Local Outlier Factor та інші методи, здатні працювати навіть за обмеженої кількості розмічених прикладів аномальних сигналів. Це важливо для задачі пошуку радіозакладних пристроїв, адже реальні зразки таких сигналів складно зібрати в достатній кількості для класичного навчання. Перспективним також є використання цифрових двійників радіосередовища, які дають змогу моделювати нормальну та аномальну поведінку сигналів, враховуючи RSSI, SNR, втрати на поширення, дрейф сигналу та багатопроменевість.

Методику пошуку радіозакладних пристроїв у високозашумленому середовищі доцільно будувати як послідовність взаємопов'язаних етапів (рис. 1).

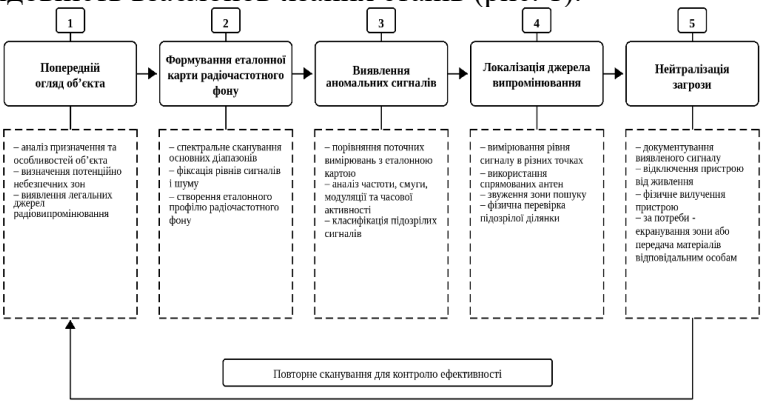


Рисунок 1. Методика пошуку радіозакладних пристроїв у високозашумленому середовищі

На першому етапі визначаються потенційно небезпечні зони (переговорні кімнати, кабінети керівництва, серверні приміщення, місця проведення закритих нарад, технічні ніші, меблі, розетки, освітлювальні прилади та інші об'єкти, у яких може бути приховано сторонній пристрій), паралельно формується перелік легальних джерел радіовипромінювання, щоб зменшити кількість хибних спрацювань під час аналізу.

На етапі спектрального моніторингу радіосередовище можна подати у вигляді моделі (1.1):

$$y(t) = s(t) + n(t) + i(t), \quad (1.1)$$

де:

y(t) – прийнятий сигнал;

s(t) – сигнал потенційного радіозакладного пристрою;
n(t) – природний та техногенний шум;
i(t) – завади від легальних бездротових систем [4].

У високозашумленому середовищі основна складність полягає в тому, що амплітуда s(t) може бути співмірною або меншою за рівень n(t) та i(t). Тому аналіз лише рівня потужності є недостатнім. Доцільно додатково враховувати часову активність сигналу, стабільність несучої частоти, ширину смуги, тип модуляції, періодичність передавання, характер імпульсів та відхилення від типової поведінки радіофону.

Для підвищення точності виявлення доцільно застосовувати комбінований підхід. Спочатку створюється «нормальний профіль» радіосередовища, який містить відомі частотні діапазони, рівні сигналів і типові часові закономірності. Далі нові вимірювання порівнюються з цим профілем. Якщо сигнал з'являється у нетиповий час, має нестандартну спектральну форму, змінює частоту або не відповідає відомим легальним пристроям, він класифікується як підозрілий. Сучасні системи спектрального моніторингу все частіше використовують машинне навчання для формування базової моделі радіоактивності та автоматичного позначення сигналів, які відрізняються за частотою, модуляцією або часовою поведінкою [5].

Після виявлення підозрілого сигналу виконується його локалізація. Для цього можуть застосовуватися порівняльні вимірювання рівня сигналу в різних точках приміщення, спрямовані антени, покрокове звуження зони пошуку та зіставлення результатів спектрального аналізу з фізичним оглядом об'єкта. Нейтралізація загрози має виконуватися без порушення роботи легальних систем зв'язку та з дотриманням вимог безпеки. Практично це може передбачати документування виявленого сигналу, фотофіксацію місця виявлення, відключення підозрілого пристрою від джерела живлення, фізичне вилучення пристрою уповноваженими фахівцями, екранування окремої зони або передавання матеріалів відповідальним особам для подальшого технічного та правового реагування.

Отже, пошук радіозакладних пристроїв у високозашумленому середовищі є складною задачею на межі

кібербезпеки, технічного захисту інформації та радіочастотного моніторингу. Ефективна методика повинна враховувати не лише рівень сигналу, а й його часові, спектральні та поведінкові характеристики. Найбільш перспективним є комплексний підхід, який поєднує SDR-приймання, спектральний аналіз, адаптивне порогове оцінювання, методи виявлення аномалій та подальшу фізичну локалізацію джерела випромінювання. Такий підхід дає змогу зменшити кількість хибних спрацювань, підвищити достовірність виявлення прихованих передавачів і забезпечити більш ефективний захист конфіденційної інформації в умовах насиченого електромагнітного середовища.

Список використаних джерел

1. Білик О., Мартинчук О., Жуга Ю. (2025). Дослідження застосування SDR Hack-RF для виявлення радіочастотної активності БПЛА. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. Вип. 5. № 2. https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2025/oct/40090/paper9obilikomartinchukyuzhuga.pdf

2. Riabtsev V., Pavlenko P. (2025). Machine Learning Methods for Anomaly Detection in the Radio Frequency Spectrum: Research Methodology. Information Technology and Security. Vol. 13(1). https://its.iszzi.kpi.ua/article/view/328754/320278

3. Moharam M. H., Hany O., Hany A., Mahmoud A., Mohamed M., Saeed S. (2025). Anomaly Detection Using Machine Learning and Adopted Digital Twin Concepts in Radio Environments. Scientific Reports. Vol. 15. https://doi.org/10.1038/s41598-025-02759-5

4. Fan Y., Chen Z., Su T. (2025). Abnormal Electromagnetic Monitoring and Electromagnetic Spectrum Data Completion Method Based on Original RF I/Q Distribution Characteristics. Scientific Reports. Vol. 15. https://doi.org/10.1038/s41598-025-24857-0

5. Technical Specifications for the Upgrade of the Spectrum Monitoring System in Albania. International Telecommunication Union. 2025. 266 p. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Publications/2025/New%20Version%20For%20Publication%20Final_Technical_Spcification_Spectrum_Monitoring_System_Upgrade_AKEP%5B54%5D.pdf

СУЧАСНІ МЕТОДИ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ У ХМАРНИХ СЕРВІСАХ

Поліщук Яна Іванівна
Технічний фаховий коледж ЛНТУ, викладач,
poli78968@gmail.com

MODERN DATA ENCRYPTION METHODS IN CLOUD SERVICES

Polishchuk Yana Ivanovna
Technical Vocational College of LNTU, teacher,
poli78968@gmail.com

This paper analyzes modern data encryption methods in cloud services and their role in ensuring information security. It covers symmetric and asymmetric encryption, data protection during transmission and storage, and key management systems. Emerging approaches such as homomorphic encryption and post-quantum cryptography are also considered.

Keywords: cloud services, data encryption, information security, symmetric encryption, asymmetric encryption, cryptography.

Сьогодні хмарні сервіси стали невід'ємною частиною як повсякденного життя користувачів, так і роботи великих компаній. Вони застосовуються для зберігання та обробки даних, запуску програмного забезпечення, а також для підтримки стабільного функціонування бізнес-процесів. У зв'язку з цим питання безпеки інформації в хмарному середовищі набуває особливої актуальності, адже будь-який несанкціонований доступ або витік даних може спричинити значні фінансові втрати та негативно вплинути на репутацію організацій. Одним із ключових способів захисту інформації є шифрування, яке дозволяє перетворити дані у вигляд, недоступний для прочитання без відповідного ключа, що забезпечує їх конфіденційність навіть у випадку перехоплення [1].

У сучасних хмарних системах найчастіше використовуються як симетричні, так і асиметричні методи

шифрування. Симетричні алгоритми передбачають використання одного спільного ключа для шифрування та розшифрування інформації, що забезпечує високу швидкість обробки даних і робить їх ефективними для великих обсягів інформації. Натомість асиметричне шифрування базується на парі ключів – відкритому та закритому, що дозволяє безпечно передавати дані без необхідності попереднього обміну секретним ключем. На практиці ці два підходи часто комбінують: асиметричні методи використовують для захищеного обміну ключами, а симетричні – для подальшого швидкого шифрування основних даних [2].

Дані в хмарі захищаються на всіх етапах їх використання завдяки багаторівневому підходу до безпеки. Під час передавання інформації між користувачем і хмарними сервісами використовуються захищені протоколи, зокрема TLS (Transport Layer Security). Вони забезпечують шифрування каналу зв'язку, перевірку автентичності сторін і збереження цілісності даних, що практично унеможливлює їх перехоплення або зміну під час передачі. Окрім цього, застосовуються сучасні алгоритми симетричного та асиметричного шифрування, такі як AES, RSA або ECC, які забезпечують надійний криптографічний захист як під час обміну ключами, так і при передачі самих даних.

Під час зберігання інформація також залишається зашифрованою, що дозволяє захистити її навіть у випадку несанкціонованого доступу до фізичної інфраструктури або носіїв у дата-центрах. Ключі шифрування зазвичай не зберігаються разом із даними, а керуються окремо за допомогою систем управління ключами (KMS) або апаратних модулів безпеки (HSM). Це суттєво знижує ризик їх компрометації. Додатково використовуються механізми контролю доступу, зокрема IAM (Identity and Access Management), які обмежують роботу з даними лише для авторизованих користувачів і сервісів.

Разом із цим обробка зашифрованої інформації залишається складним завданням, адже традиційно для виконання обчислень дані потрібно розшифровувати, що створює потенційні ризики витоку. Щоб мінімізувати ці проблеми, розробляються нові підходи, серед яких гомоморфне шифрування, яке дозволяє

виконувати обчислення без розкриття вихідних даних. Також активно досліджуються багатосторонні обчислення (MPC) і технології конфіденційних обчислень, що забезпечують обробку інформації в захищеному або ізольованому середовищі. Водночас ці методи поки що залишаються доволі ресурсомісткими і потребують значних обчислювальних потужностей, тому їхнє широке застосування в масових хмарних сервісах ще обмежене, хоча їх значення для майбутнього кібербезпеки постійно зростає.

Важливим елементом загальної системи безпеки є також управління криптографічними ключами. Спеціалізовані системи забезпечують їх створення, зберігання та регулярну зміну, що підвищує рівень захисту даних. У деяких випадках користувачі можуть повністю контролювати ключі самостійно, і тоді навіть постачальник хмарних послуг не має доступу до їхніх даних. Додатковий рівень захисту забезпечують апаратні модулі безпеки, які ізолюють криптографічні операції від зовнішніх загроз [3].

Ще одним важливим підходом у забезпеченні безпеки є багаторівневе шифрування, коли дані додатково захищаються кількома шарами. Такий підхід значно ускладнює потенційні атаки та підвищує загальну стійкість системи до зламів. У поєднанні з механізмами автентифікації та контролю доступу шифрування формує основу надійного захисту сучасних хмарних сервісів.

Окремо варто згадати про постквантову криптографію. Розвиток квантових обчислень у майбутньому може створити загрозу для класичних криптографічних алгоритмів, тому вже зараз активно ведуться дослідження нових методів захисту, які будуть стійкими до таких технологій. Хмарні провайдери поступово тестують і впроваджують подібні рішення, готуючись до можливих викликів майбутнього [4].

Отже, сучасні методи шифрування в хмарних сервісах являють собою складну багаторівневу систему, яка постійно розвивається. Поєднання різних технологій і підходів дозволяє забезпечувати високий рівень захисту даних, що особливо важливо в умовах стрімкого зростання обсягів інформації та ускладнення кіберзагроз.

Список використаних джерел

1. Ravindrakumar. Data encryption techniques for securing cloud storage and communication. ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts. 2024. Vol. 5, №4. P. 861-869.

2. Ahmadov S. Data encryption as a method of protecting personal data in a cloud environment. Bulletin of Cherkasy State Technological University. 2024. Vol. 29, №3. P. 31-41.

3. Bhawane M. Secured Data Storage on the Cloud Using Hybrid Cryptography. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2024. №12(11). P. 2516-2518

4. Aljamal M., Khassawneh B.S., Alsarhan A., Okour S., Almusfar L.A., AlThani B.F., Aldossary W. A Novel Dual-Layer Quantum-Resilient Encryption Strategy for UAV–Cloud Communication Using Adaptive Lightweight Ciphers and Hybrid ECC–PQC. 2026. №15. P. 1-28.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОТОКОЛІВ ШИФРУВАННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ДАНИХ

Рак Дмитро Олександрович
Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна), здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, rak.dmytro.ipz@rshu.edu.ua
Петренко Сергій Вікторович
Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна), кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, serhii.petrenko@rshu.edu.ua

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN ENCRYPTION PROTOCOLS AND THEIR IMPACT ON DATA SECURITY

Rak Dmytro Oleksandrovych
Rivne State University of the Humanities (Ukraine), first (bachelor's) level higher education student, rak.dmytro.ipz@rshu.edu.ua
Petrenko Serhii Viktorovych
Rivne State University for the Humanities (Ukraine), PhD in Pedagogy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Modeling, serhii.petrenko@rshu.edu.ua

This study examines the evolution and performance of modern encryption protocols, including TLS 1.3, WireGuard, WPA3, and IPsec. The research focuses on architectural changes, cryptographic primitives, and resistance to various types of attacks. Through a comparative analysis, the author identifies key advantages of simplified handshakes and modern elliptic curve cryptography. The findings suggest optimal application scenarios for each protocol based on security requirements.

Keywords: Cryptography, TLS 1.3, WireGuard, Network Security, Data Protection.

Актуальність дослідження криптографічних протоколів зумовлена постійною гонкою озброєнь між розробниками систем захисту та дослідниками вразливостей. Останні п’ять років стали

переломними у розвитку стандартів мережевого шифрування, оскільки індустрія почала масово відмовлятися від спадщини дев'яностих років на користь лаконічних та математично стійких рішень. Основна проблема застарілих протоколів полягала не лише у слабких алгоритмах, а й у надмірній складності конфігурації, що часто призводило до помилок адміністрування та успішних атак через неправильне налаштування.

Найбільш помітним кроком у цьому напрямку стала поява та впровадження TLS 1.3. Цей протокол радикально змінив підхід до встановлення захищеного з'єднання, прибравши підтримку застарілих та потенційно небезпечних функцій, таких як статичний обмін ключами через RSA. Перехід на використання виключно механізмів з досконалою прямою секретністю, зокрема на базі еліптичних кривих Діффі-Геллмана, став фундаментом для захисту від ретроспективного дешифрування перехопленого трафіку [1]. Окрім безпекової складової, TLS 1.3 суттєво оптимізував швидкість роботи за рахунок скорочення процедури рукостискання. Використання моделі 1-RTT, а в окремих випадках і 0-RTT для повторних сесій, дало змогу мінімізувати затримки, що критично для високонавантажених веб-сервісів. Проте режим 0-RTT вніс нові ризики, пов'язані з атаками повторного відтворення, що змушує розробників шукати баланс між продуктивністю та захищеністю на рівні прикладного ПЗ.

Паралельно з розвитком прикладних протоколів відбулася певна революція на рівні мережевих тунелів. Довгий час стандартом де-факто для побудови віртуальних приватних мереж залишався IPsec. Це надзвичайно потужний та гнучкий інструмент, що працює на рівні мережевого рівня моделі OSI, проте його модульність стала його ж слабкістю. Складність протоколу IKEv2 та величезний обсяг кодової бази IPsec створюють широке поле для потенційних помилок у реалізації. На противагу йому з'явився WireGuard, який базується на принципі криптографічної маршрутизації. Головною перевагою WireGuard є його компактність — близько чотирьох тисяч рядків коду проти сотень тисяч у конкурентів. Це дає змогу проводити повний аудит безпеки силами невеликої команди дослідників. Використання сучасних примітивів, таких як ChaCha20 для

симетричного шифрування та Poly1305 для автентифікації повідомлень, забезпечує високу продуктивність навіть на пристроях зі слабким процесором без апаратної підтримки AES [2].

Аналізуючи архітектурні відмінності, варто зазначити, що WireGuard не намагається бути універсальним комбайном. Він не підтримує узгодження алгоритмів шифрування, що з одного боку обмежує гнучкість, а з іншого — унеможливлює атаки типу пониження версії протоколу (downgrade attacks), які десятиліттями переслідували сімейство SSL/TLS. У той же час IPsec залишається незамінним у корпоративному секторі завдяки розвиненим механізмам керування політиками доступу та сумісності з наявним мережевим обладнанням. Вибір між ними часто зводиться до питання між стабільною інфраструктурною спадщиною та швидкісною модернізацією.

Окрему увагу слід приділити безпеці бездротових мереж, де стандарт WPA3 прийшов на зміну вразливому WPA2. Основна інновація тут полягає у впровадженні протоколу SAE (Simultaneous Authentication of Equals), який замінив метод PSK. Це дало змогу ефективно протидіяти офлайн-атакам за словником, які були головною вразливістю попереднього покоління через слабкість чотиристороннього рукостискання. Навіть якщо користувач вибирає недостатньо складний пароль, механізм SAE робить перехоплення та подальший підбір ключа математично недоцільним. Крім того, WPA3 забезпечує індивідуальне шифрування даних у відкритих мережах, що суттєво підвищує приватність користувачів у публічних місцях без необхідності використання додаткових VPN-сервісів [3].

Порівняльна характеристика протоколів демонструє чітку тенденцію до криптографічного мінімалізму. Якщо раніше розробники намагалися реалізувати підтримку максимальної кількості алгоритмів для забезпечення зворотної сумісності, то сучасні стандарти обирають шлях жорсткої селекції лише найбільш стійких методів. Зокрема, повсюдний перехід на AEAD-режими шифрування (Authenticated Encryption with Associated Data) надав змогу вирішити проблему цілісності даних, яка раніше часто ігнорувалася або реалізовувалася через вразливі

схеми.

Ефективність сучасних рішень також тісно пов’язана з їхньою стійкістю до криптоаналізу. Наприклад, відмова від потокових шифрів на кшталт RC4 та блочних шифрів у режимі CBC на користь AES-GCM або ChaCha20-Poly1305 дала змогу закрити цілі класи атак на основі витоків по сторонніх каналах. Проте перед дослідниками постає новий виклик — постквантова стійкість. Хоча обговорені протоколи наразі є надійними проти класичних обчислювальних методів, вони залишаються вразливими до потенційних атак з використанням квантових комп’ютерів у майбутньому. Це вже спонукає до перших експериментів з гібридними схемами обміну ключами в рамках TLS та IPsec [4].

Підсумовуючи результати аналізу, можна дійти висновку, що ідеального протоколу на всі випадки життя не існує, але вектор розвитку заданий правильно. TLS 1.3 є безальтернативним стандартом для вебу та прикладних сервісів завдяки балансу швидкості та безпеки. WireGuard виступає оптимальним вибором для побудови персональних та високонавантажених тунелів, де пріоритетом є продуктивність та простота аудиту. IPsec зберігає свої позиції в сегменті складних корпоративних мереж з багаторівневою ієрархією. WPA3 нарешті привів безпеку побутового Wi-Fi до рівня, що відповідає сучасним загрозам. Власний погляд на проблему дає змогу стверджувати, що найбільшою загрозою сьогодні є не стільки математична слабкість протоколів, скільки інертність переходу на нові стандарти в реальних інфраструктурах.

Список використаних джерел

1. Hoffman, P. (2020). The Tao of IETF: A Novice's Guide to the Internet Engineering Task Force. IETF Press.

2. Katz, J., & Lindell, Y. (2021). Introduction to Modern Cryptography (3rd ed.).

3. Paar, C., & Pelzl, J. (2009). Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners. Springer Nature.

4. Stallings, W. (2023). Cryptography and Network Security: Principles and Practice (8th ed.). Pearson Education.

ПРИВАТНІСТЬ ЯК ІЛЮЗІЯ: ТЕХНІЧНІ МЕХАНІЗМИ ПРИХОВАНОГО ЗБОРУ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ВЕБ-ЗАСТОСУНКАХ ТА ПРОБЛЕМА ЦИФРОВОЇ ГРАМОТНОСТІ

Романюк Роман Олександрович
Луцький національний технічний університет,
студент бакалаврату, romanyuk.r2609.121.24@lntu.edu.ua
Потейчук Михайло Іванович
Луцький національний технічний університет,
асистент кафедри інженерії програмного забезпечення,
misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

PRIVACY AS AN ILLUSION: HIDDEN DATA COLLECTION MECHANISMS IN MODERN WEB APPLICATIONS AND THE PROBLEM OF DIGITAL LITERACY

Romaniuk Roman
Lutsk National Technical University, Bachelor's student,
romanyuk.r2609.121.24@lntu.edu.ua
Poteichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University, Assistant, Department of Software Engineering, misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

This paper examines the gap between users' perceived and actual privacy in modern web applications. By analysing OAuth 2.0 permission models, browser fingerprinting, CNAME cloaking and manipulative interface design patterns, we show how technical solutions and design strategies systematically obscure data collection practices. The educational environment is discussed as a context of heightened vulnerability, with implications for digital literacy development.

Keywords: privacy paradox, OAuth 2.0, canvas fingerprinting, dark patterns, digital literacy, data collection

Питання захисту персональних даних у цифровому середовищі є одним із центральних у сучасних дослідженнях інформаційної безпеки. Попри значний масив правових норм і

технічних стандартів, реальний рівень захищеності користувача нерідко суперечить його власним уявленням. Дослідники визначають цей феномен як «парадокс приватності»: люди декларують важливість захисту персональних даних, однак у повсякденній поведінці систематично нехтують відповідними заходами обережності [1]. Причини цього явища залишаються предметом дискусій, проте дедалі більше досліджень вказують на те, що вирішальну роль відіграє не байдужість користувача, а системне приховування реальних процесів збору даних засобами дизайну інтерфейсів. Мета цієї роботи полягає у систематизації таких механізмів і аналізі того, яким чином проєктування інтерфейсу формує у користувача хибне відчуття захищеності.

Одним із поширених технічних прикладів є протокол делегованої авторизації OAuth 2.0, на якому ґрунтується механізм соціального входу, тобто можливість авторизуватися на сторонньому ресурсі через наявний обліковий запис великого сервісу. Для користувача ця взаємодія виглядає як зручна і безпечна, натомість у момент такого входу застосунок отримує маркер доступу з визначеним переліком дозволів на читання даних. Стандартний перелік включає ім'я, фотографію профілю, адресу електронної пошти та унікальний ідентифікатор. Проте численні застосунки запитують значно ширший набір дозволів, зокрема доступ до списку контактів або календаря, не пояснюючи користувачеві ні потребу в цих даних, ні строки їх зберігання. Дослідження Felt та співавторів (2012) продемонструвало, що від 17% до 50% мобільних застосунків запитують дозволи, що виходять за межі задекларованого функціоналу [2].

Поряд із механізмами явної авторизації існує ціла екосистема пасивного збору даних, прихована від пересічного користувача. Технологія зняття цифрових відбитків через графічний контекст браузера (canvas fingerprinting) полягає в тому, що скрипт непомітно малює графічний елемент, а відмінності у відображенні, зумовлені відеодрайвером, шрифтами та апаратними параметрами пристрою, формують унікальний ідентифікатор. Mowery і Shacham (2012) показали, що точність такої ідентифікації сягає 90% без файлів-маркерів і без

дозволу з боку користувача [3]. Суміжна техніка маскує трекінговий домін сторонньої компанії під субдомен основного сайту через запис у системі доменних імен, обходячи сучасні засоби блокування реклами. Окремий клас становлять стійкі ідентифікатори, що зберігаються одночасно в кількох незалежних сховищах браузера і автоматично відновлюються навіть після того, як користувач вживає заходів для видалення слідів своєї активності.

Те, що робить описані механізми особливо ефективними, це те, як вони взаємодіють із дизайном інтерфейсу. McDonald і Cranor (2008) підрахували, що уважне ознайомлення з усіма політиками конфіденційності сервісів, якими в середньому користується американець, потребувало б близько 76 робочих днів на рік [4]. В умовах такого дефіциту уваги інтерфейс стає фактично єдиним орієнтиром для оцінки надійності сервісу. Саме тут набувають значення маніпулятивні прийоми проєктування, що в науковій літературі отримали назву темних патернів (dark patterns): кнопка «Прийняти все» виділяється кольором поруч із непоказною кнопкою налаштувань, прапорці згоди встановлені за замовчуванням, а відмова формулюється так, щоб спричинити психологічний дискомфорт. Масштабне дослідження Mathur та співавторів (2019), що охопило понад 11 тисяч комерційних вебсайтів, зафіксувало 1818 подібних прийомів, переважна більшість яких стосується управління згодою на обробку персональних даних [5].

Окреслена проблема набуває особливої гостроти в освітньому середовищі, де до загальних ризиків додається інституційна довіра. Студенти і викладачі масово використовують цифрові платформи для організації навчального процесу, вважаючи їх безпечними через сам факт застосування в освіті. Безоплатний характер таких сервісів нерідко забезпечується детальною поведінковою аналітикою: фіксуються часові інтервали між діями, маршрути навігації, швидкість реакції, з яких можна екстраполювати когнітивні характеристики конкретного студента. У задокументованих випадках зібрані відомості передавались рекламним партнерам або

використовувались для навчання алгоритмів машинного навчання без належного інформування користувачів.

Таким чином, ілюзія приватності є системним явищем, що виникає на перетині технічних рішень і стратегій проєктування інтерфейсів. Подолання цього розриву потребує узгоджених зусиль: на технічному рівні це реальне дотримання принципу мінімізації даних і прозора декларація переліку дозволів; на регуляторному наявні норми, зокрема положення Загального регламенту про захист даних Євросоюзу, потребують більш ефективного правозастосування. Найменш дослідженим і водночас найперспективнішим залишається освітній напрям: включення до навчальних програм курсів цифрової грамотності, де акцент зміщується з інструментальних навичок на критичне розуміння того, як насправді функціонують системи, яким користувачі щоденно довіряють свої персональні дані.

Список використаних джерел

1. Solove D. J. The myth of the privacy paradox. George Washington University Law School Public Law Research Paper. 2020. No. 2020-23. https://ssrn.com/abstract=3536265

2. Felt A. P. et al. Android permissions: User attention, comprehension, and behavior. Proceedings of the Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS). 2012. P. 3:1–3:14. https://dl.acm.org/doi/10.1145/2335356.2335360

3. Mowery D., Shacham H. Pixel perfect: Fingerprinting canvas in HTML5. Proceedings of W2SP. 2012. P. 1–12. https://hovav.net/ucsd/dist/canvas.pdf

4. McDonald A., Cranor L. The cost of reading privacy policies. Journal of Law and Policy for the Information Society. 2008. Vol. 4. No. 3. P. 540–565. https://kb.osu.edu/handle/1811/72839

5. Mathur A. et al. Dark patterns at scale: Findings from a crawl of 11K shopping websites. Proceedings of ACM CSCW. 2019. Vol. 3. Article 81. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3359183

ЗАСТОСУНОК СТВОРЕННЯ І ПЕРЕВІРКИ ВАЛІДНОСТІ ЛІЦЕНЗІЙНИХ КЛЮЧІВ

Сафонов Владислав Олегович
Національний Аерокосмічний Університет ”Харківський Авіаційний Інститут”, студент кафедри Кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій, loppprt@gmail.com

APPLICATION FOR CREATING AND VERIFYING THE VALIDITY OF LICENSE KEYS

Safonov Vladislav Olegovich
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», student of Department of Cybersecurity and Intelligent Information Technologie, loppprt@gmail.com

This work is the development of software for generating and verifying the validity of license keys using modern cryptographic methods. In the modern world of information technology, software products are widely used in various areas of human activity, so the issue of protecting software from unauthorized use is extremely important. The use of licensing mechanisms allows you to control the distribution of products and ensure their commercial value.

Keywords: license key; rsa; cryptography; digital signature; java; javafx; encryption; license validation; pem; base64.

В теперішній час фіксується збільшення кількості випадків нелегального використання програмного забезпечення та підробки ліцензійних ключів. У зв’язку із цим сучасні програми використовують системи ліцензування для перевірки законності використання продукту [3]. Для захисту ліцензійних ключів використовуються криптографічні алгоритми, найпоширеніший це RSA, який дозволяє перевіряти справжність ліцензії без ризиків розповсюдження важливої інформації [1], [2]. Використання цифрових підписів та асиметричного шифрування повинно відповідати сучасним вимогам інформаційної безпеки та рекомендаціям криптографічних стандартів [4], тому є актуальним створення простого та зрозумілого застосунку для

генерації та перевірки ліцензійних ключів.

Метою даної роботи є розробка застосунку для створення та перевірки валідності ліцензійних ключів із використанням асиметричного криптографічного алгоритму RSA з довжиною ключа 3072 біти. Основними завданнями є реалізація механізму генерації ключів, створення цифрового підпису ліцензії та перевірка її достовірності без необхідності передачі секретної інформації.

Для досягнення поставленої мети був розроблений програмний застосунок мовою програмування Java з використанням Java Cryptography Architecture [5] Він дозволяє генерувати ліцензійні ключі, підписані за допомогою RSA, та перевіряти їх валідність. Використання асиметричного шифрування забезпечує високий рівень захисту та виключає можливість підробки ліцензій без наявності приватного ключа. Також, в застосунку реалізовано наступні функції: збереження та завантаження ключів форматі PEM; кодування даних у форматі Base64; перевірку цифрового підпису. Також, був розроблений простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє легко виконувати програму без додаткових налаштувань (рис. 1).

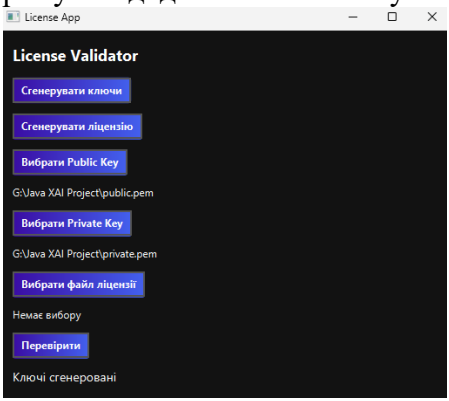


Рисунок 1. Інтерфейс додатку

Верифікація застосунку пітвердила його повну відповідність поставленій задачі. Протестовано виявлення змінених або підроблених ліцензійних файлів та перевірку ліцензії із використанням неправильного публічного ключа. На

рисунку 2 зображено перевірку роботи програми.

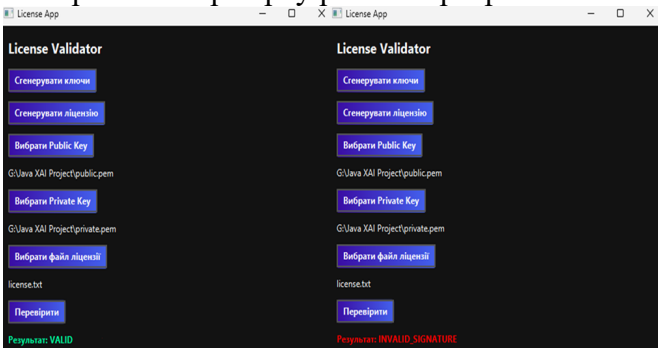


Рисунок 2. Перевірка роботи програми

Розроблений застосунок може використовуватися розробниками програмного забезпечення для реалізації систем ліцензування та захисту власних програмних продуктів. Завдяки модульній структурі програму можна розширювати та доповнювати новими функціями у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Менезес А. Дж., ван Ооршот П. С., Ванстоун С. А. Довідник із прикладної криптографії [Ел. ресурс]. URL: https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Cryptography/Handbook%20of%20Applied%20Cryptography%20-%20Alfred%20J.%20Menezes.pdf

2. Cryptography and Network Security [Ел. ресурс]. URL: https://www.uoitc.edu.iq/images/documents/informatics-institute /Competitive_exam/Cryptography_and_Network_Security.pdf

3. DOU. Як захистити свій софт від злому та реверс-інжинірингу [Ел. ресурс]. URL: https://dou.ua/forums/topic/43026/

4. FIPS PUB 186-4. Digital Signature Standard (DSS) [Ел. ресурс]. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.186-4.pdf

5. Java Cryptography Architecture (JCA) Reference Guide [Ел. ресурс]. URL: https://docs.oracle.com/en/java/javase/11/security/java-cryptography-architecture-jca-reference-guide.html

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЯВЛЕННЯ ФІШИНГОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У КОРПОРАТИВНИХ КОМУНІКАЦІЯХ

Соколов Богдан Олександрович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти магістерського рівня спеціальності Інженерія програмного забезпечення, bogdansokolov19@gmail.com
Ящук Андрій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, a.yashchuk@lutsk-ntu.com.ua

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO DETECTING PHISHING MESSAGES IN CORPORATE COMMUNICATIONS

Sokolov Bogdan Oleksandrovych
Lutsk National Technical University, higher education student at the master's level in the specialty Software Engineering, bogdansokolov19@gmail.com
Yashchuk Andriy Anatoliyovych
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering, a.yashchuk@lntu.com.ua

This paper analyses modern approaches to detecting phishing messages in corporate communications. The study compares rule-based filtering, classical machine learning, deep learning and transformer-based models, and also examines hybrid architectures that combine linguistic, technical and behavioural indicators. The strengths and limitations of these approaches are identified, and practical requirements for deploying phishing detection systems in corporate environments are outlined.

Keywords: phishing, corporate communications, machine learning, natural language processing, email security.

Фішингові повідомлення залишаються одним із найпоширеніших засобів компрометації корпоративних

інформаційних систем. Вони маскуються під легітимну ділову комунікацію та спонукають користувачів розкривати облікові дані, встановлювати шкідливе програмне забезпечення або здійснювати небажані фінансові операції. У корпоративному середовищі ефективність таких атак підвищується завдяки використанню соціальної інженерії, персоналізації змісту та імітації внутрішнього листування.

Традиційні засоби захисту, зокрема спам-фільтри, чорні списки та сигнатурні механізми, мають обмежену ефективність проти нових або добре замаскованих атак. Тому сучасні системи дедалі частіше використовують методи машинного навчання та обробки природної мови для аналізу тексту повідомлень, заголовків, URL-адрес і метаданих відправника, що дозволяє виявляти приховані ознаки фішингу.

Класичні моделі машинного навчання, зокрема Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest і градієнтний бустинг, зазвичай використовують ознаки типу TF-IDF, статистику символів, ключові лексеми, параметри доменів і характеристики вкладень. Їх перевагами є відносна простота, швидкість навчання та зрозумілість результатів, однак якість таких моделей значною мірою залежить від повноти та актуальності набору ознак.

Підходи глибокого навчання на основі CNN, LSTM і BiLSTM дають змогу автоматично виявляти складні залежності у тексті без ручного конструювання великої кількості характеристик. Такі архітектури особливо корисні для аналізу послідовностей слів, стилістичних патернів і нетипових мовних конструкцій, які часто використовуються у фішингових повідомленнях [1].

Окремий інтерес становлять трансформерні моделі, зокрема BERT-подібні архітектури та великі мовні моделі. Вони формують контекстно чутливі векторні представлення тексту, що покращує розпізнавання прихованих маніпулятивних сигналів, термінових закликів до дії та спроб імітації офіційного стилю листування [2, 3].

Разом із цим практичне застосування трансформерів у

корпоративних системах потребує врахування обчислювальної вартості, затримок під час обробки та вимог до захисту даних. Тому в реальних умовах часто використовують компромісні схеми, у яких глибокі моделі доповнюються легшими класифікаторами або запускаються лише для повідомлень із підвищеним рівнем ризику.

Перспективним напрямом є гібридний підхід, за якого правила швидко відсіюють очевидно небезпечні або очевидно безпечні повідомлення, а складні випадки передаються на поглиблений аналіз моделям машинного навчання. Така архітектура поєднує продуктивність, масштабованість і здатність адаптуватися до нових тактик зловмисників.

Додатково якість виявлення підвищується завдяки використанню поведінкових і контекстних сигналів: історії взаємодії з відправником, нетипового часу надсилання, аномалій у маршруті доставки, невідповідностей SPF/DKIM/DMARC, репутації домену та результатів інтеграції із SIEM або SOAR-платформами. Поєднання таких ознак із текстовим аналізом дає змогу точніше оцінювати ризик конкретного повідомлення.

Отже, сучасні системи виявлення фішингу відходять від суто сигнатурного підходу до багаторівневих моделей ухвалення рішень, у яких поєднуються статичні правила, статистичні класифікатори, нейромережеві методи та зовнішні джерела телеметрії.

Для корпоративного використання система виявлення фішингових повідомлень повинна відповідати кільком ключовим вимогам: працювати в реальному часі, масштабуватися під великі обсяги поштового трафіку, забезпечувати низький рівень хибнопозитивних спрацювань і підтримувати пояснюваність результатів для фахівців з інформаційної безпеки.

Типовий процес аналізу включає попередню обробку повідомлення, нормалізацію тексту, виділення ознак, обчислення інтегральної оцінки ризику та подальше застосування політики реагування. На цьому етапі можуть аналізуватися заголовки листа, тіло повідомлення, вкладення, скорочені посилання, лінки з редиректами, а також відповідність технічних атрибутів

очікуваному профілю відправника.

У разі використання моделей машинного навчання результати класифікації доцільно поєднувати з правилами бізнес-логіки. Наприклад, навіть помірний ризиковий бал може вимагати карантину повідомлення, якщо воно містить вкладення з макросами або надійшло з домену, схожого на корпоративний.

Важливим компонентом є механізм зворотного зв'язку, який дозволяє донавчати моделі на основі підтверджених інцидентів, скарг користувачів і результатів ручного розбору. Це підвищує адаптивність системи та допомагає оперативно реагувати на появу нових сценаріїв атак.

У сучасних корпоративних рішеннях, зокрема платформах захисту електронної пошти, вже реалізується багатофакторний аналіз повідомлень із використанням ML-моделей, перевірок автентичності доменів, аналізу URL та вкладень, а також механізмів кореляції подій. Такий підхід підвищує стійкість до атак, які обходять окремі фільтри [4].

Попри високий потенціал інтелектуальних методів, їх впровадження пов'язане з низкою проблем: потребою в якісних навчальних вибірках, ризиком деградації моделі через зміну тактик зловмисників, складністю пояснення окремих рішень та необхідністю дотримання вимог конфіденційності корпоративних даних.

Тому найбільш ефективними вважаються підходи, що поєднують автоматичне виявлення з організаційними заходами безпеки: навчанням персоналу, політиками перевірки підозрілих запитів, сегментацією доступу та постійним моніторингом інцидентів.

Практична цінність такого підходу полягає в тому, що система виявлення фішингових повідомлень розглядається не як ізольований фільтр, а як складова загальної архітектури кіберзахисту підприємства.

Таким чином, аналіз сучасних підходів до виявлення фішингових повідомлень у корпоративних комунікаціях свідчить, що найкращі результати забезпечує комбінування правил, методів машинного навчання, трансформерних моделей і контекстних

технічних сигналів. Саме багаторівнева архітектура дає змогу підвищити точність виявлення та водночас зберегти прийнятну швидкодію системи.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на мультимодальний аналіз повідомлень, розширення механізмів пояснюваності моделей, використання федеративного навчання для захисту корпоративних даних і вдосконалення методів виявлення цільового фішингу.

Список використаних джерел

1. Dey, S., Sarma, W., & Tiwari, S. (2023). AI-powered phishing detection: Integrating natural language processing and deep learning for email security. World Journal of Advanced Engineering and Technology Sciences, 10(2), 394-415. https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.10.2.0284.

2. Fahim, R. A., Arman, M. S., Sultana, I., Tasnim, N., Rifat, K., & Mahmud, I. (2024). PhishGuard: Leveraging NLP and Machine Learning for Email Phishing Detection. Proceedings of the International Conference on Big Data Analytics in Bioinformatics. https://doi.org/10.1109/dabcon63472.2024.10919349.

3. Lee, C. (2025). Enhancing phishing email identification with large language models. arXiv. https://arxiv.org/abs/2502.04759.

4. Starr, A., & Blando, L. (2023, February 21). How Proofpoint Aegis Uses Machine Learning. Proofpoint Engineering Insights Blog. https://www.proofpoint.com/us/blog/engineering-insights/leveraging-ml-to-detect-ai-generated-phishing-emails.

5. Ulac, M. (2025, August 8). The Role of Natural Language Processing in Detecting Phishing Emails. LinuxSecurity. https://linuxsecurity.com/news/server-security/nlp-phishing-detection.

АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТЕЙ SWIFT-ДОДАТКІВ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ НА ОСНОВІ OWASP MOBILE

Стрельніков Владислав
Луцький національний технічний університет, студент,
vlad00strelnikov@gmail.com
Мельник Катерина
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент,
кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем,
ekaterinamelnik@gmail.com

ANALYSIS OF SWIFT APPLICATION VULNERABILITIES AND METHODS FOR THEIR ELIMINATION BY OWASP MOBILE

Vladislav Strelnikov
Lutsk National Technical University, student,
vlad00strelnikov@gmail.com
Kateryna Melnyk
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor,
Department of Computer Engineering and Safety Systems
ekaterinamelnik@gmail.com

The article analyzes the vulnerabilities of local data storage in Swift applications using the OWASP Mobile Top 10 model. Using the "GreenMeal" prototype as an example, the risks of insecure storage (M2) and client-side injection (M7) when using UserDefaults are demonstrated. The study proposes a transition to Keychain Services, the implementation of data integrity checks using CryptoKit (SHA-256), and safe deserialization with do-catch blocks to ensure the security of educational mobile services.

Keywords: Swift, iOS security, OWASP Mobile, Keychain, data integrity, UserDefaults, mobile application development.

Розширення цифрової інфраструктури сучасних університетів передбачає створення мобільних сервісів для автоматизації побутових процесів, наприклад системи електронного меню. Попри те, що такі додатки не завжди

оперують платіжними реквізитами, вони накопичують значні масиви даних: технічні ідентифікатори користувачів, кешовані дані розкладу та меню, а також токени автентифікації [1, 3].

У процесі Swift-розробки безпека клієнтської частини часто поступається пріоритетністю швидкості реалізації інтерфейсу та зручності взаємодії. Використання стандартних механізмів локального збереження (наприклад, UserDefaults або неізольованих plist-файлів) для зберігання службової інформації створює передумови для реалізації загроз типу M2: Insecure Data Storage за класифікацією OWAPS Mobile [2]. Несанкціонований доступ до локальних файлів додатка може призвести до компрометації сесій користувачів або маніпуляційних даних на основі моделі OWASP є необхідним для гарантування стабільної та безпечної роботи мобільних додатків.

Вибір мови програмування Swift для розробки додатку зумовлений концепцією Type Safety та Memory Safety, що розглядаються як фундаментальні бар'єри, що запобігають цілим класам вразливостей, таких як переповнення буфера або некоректна інтерпретація даних. Фреймворк SwiftUI використовується для побудови декларативного інтерфейсу, що з точки зору безпеки, зменшує ймовірність помилок стану (state-related bugs), які часто стають джерелом вразливостей у логіці відображення даних.

З метою візуалізації потоків даних та розмежування відповідальності між компонентами системи для мінімізації вразливостей категорії M2 був використаний архітектурний патерн MVVM (Model-View-ViewModel).

Для тестування було розроблено прототип мобільної системи «GreenMeal», який призначений для моніторингу меню в освітніх закладах. Технічна реалізація системи базується на наступних механізмах обробки даних:

– Моделювання даних: основні сутності системи – об’єкти типів Dish (страва) та Institution (навчальний заклад) – реалізовані як Swift-структури, що підтримують протокол Codable. Це дозволяє здійснювати серіалізацію складних об'єктів у формат JSON.

– Механізм збереження: для утримання стану між сесіями користувача обрано стандартний інструмент UserDefaults. Процес збереження реалізовано через поєднання JSONEncoder (для перетворення об'єктів у тип Data) та виклик методу set(_:forKey:) для запису у сховище (рис.1).

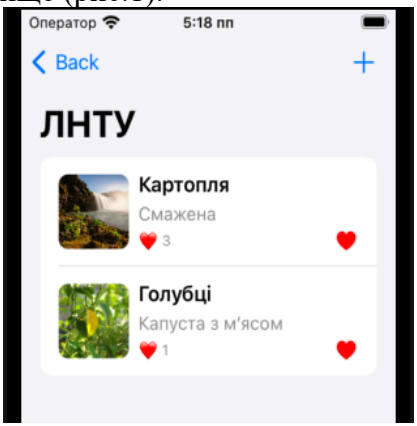


Рисунок 1. Інтерфейс додатку

Даний підхід було обрано як «контрольну групу» для дослідження, однак, з погляду безпеки, така архітектура є вразливою, оскільки UserDefaults зберігає дані (об'єкти Dish та Institution) у вигляді нешифрованих XML-файлів (plist) у пісочниці додатка, що робить їх доступними для аналізу у разі компрометації пристрою або створення резервної копії. Даний файл є стандартом XML-документом (Property List) і система iOS не застосовує автоматичне шифрування до вмісту цього файлу. Дані зберігаються у форматі Base64 (після серіалізації через JSONEncoder), який легко декодується у відкритий текст.

Отже, використання UserDefaults для збереження бізнес-логіки (навіть не критичної на перший погляд) створює вектор атаки на цілісність даних. Це підтверджує необхідність переходу від стандартних сховищ до захищених контейнерів.

При аналізі ризиків, що виникають при некоректній обробці вхідних даних, які виконуються на стороні клієнтського додатка Swift проводяться дослідження вразливостей категорії M7: Client Side Injection за класифікацією OWASP Mobile Top 10 [3].

Для нівелювання виявлених ризиків та приведення системи «GreenMeal» у відповідність до стандартів безпеки OWASP Mobile, запропоновані такі заходи:

1. Перехід на Keychain Services для чутливих даних, який використовує системне шифрування та апаратні модулі безпеки iOS, що робить дані недоступними для перегляду через файлову систему або резервні копії. Це забезпечує надійну ізоляцію технічних параметрів додатка від стороннього втручання [1].

2. Контроль цілісності даних через хешування та підписи Для запобігання вразливості M7 (Client Side Injection) та маніпуляції JSON-масивами пропонується впровадження механізму перевірки цілісності. Кожен масив об'єктів Dish або Institution перед записом повинен супроводжуватися розрахунком хеш-суми (наприклад, за допомогою SHA-256 у CryptoKit) або цифровим підписом.

3. Впровадження безпечної десеріалізації (do-catch) З метою підвищення відмовостійкості додатка, запропоновано відмовитися від конструкцій try? на користь повноцінної обробки помилок через блоки do-catch, що дозволить системі ідентифікувати специфічні помилки десеріалізації.

Список використаних джерел

1. Archibong, E. E., Stephen, B. U.-A., & Asuquo, P. (2026). Analysis of Cybersecurity Vulnerabilities in Mobile Payment Applications. Archives of Advanced Engineering Science, 4(2), 137-147. https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022595

2. M2: Insecure Data Storage | OWASP Foundation. OWASP Foundation, the Open Source Foundation for Application Security | OWASP Foundation. URL: https://surl.lu/varzbp (date of access: 10.05.2026).

3. M7: Client Side Injection | OWASP Foundation. OWASP Foundation, the Open Source Foundation for Application Security | OWASP Foundation. URL: https://surl.li/bjtbgy (date of access: 10.05.2026).

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ

Тарасенко Ярослав Володимирович
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, yaroslav.tarasenko93@gmail.com
Матусяк Павло Олександрович
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, аспірант, Pavelmatusyak@gmail.com

PROBLEMS OF AUTOMATIC CALIBRATION OF CYBER-PHYSICAL SYSTEM DIAGNOSTIC PARAMETERS FOR INTRUSION DETECTION

Tarasenko Yaroslav Volodymyrovych
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Doctor of Engineering Science, Leading Researcher, yaroslav.tarasenko93@gmail.com
Matusyak Pavlo Oleksandrovych
State University of Information and Communication Technologies, Post-Graduate, Pavelmatusyak@gmail.com

The paper consider the problems of automatic calibration of the diagnostic parameters of a cyber-physical system for intrusion detection. It is shown that fixed thresholds lose their effectiveness under changing operating modes, which creates the need for intelligent adjustment of thresholds, deviation limits, and decision-making rules in the course of self-diagnostics.

Keywords: cyber-physical system, intrusion detection, self-diagnostics.

В умовах поширення корпоративних IoT-орієнтованих кіберфізичних систем особливого значення набуває потреба забезпечення їх захисту від зовнішніх фізичних чи інформаційних вторгнень. Ефективність такого захисту істотно залежить від

здатності системи своєчасно виявляти відхилення власного еталонного стану в межах допустимих порогових інтервалах та уточнювати ці діагностичні параметри в процесі самодіагностики.

Проблемне питання полягає в проявах ознак вторгнення, які не завжди придатні до інтерпретації у якості явного порушення цілісності системи. У багатьох випадках такі порушення маскуються під допустимі коливання штатних режимів функціонування або зміну зовнішніх умов. Фіксовані пороги спрацювання тригера детектора вторгнень за подібних умов втрачають ефективність, а задача виявлення вторгнень потребує адаптивного налаштування діагностичних меж [1].

За таких умов автоматичне калібрування діагностичних параметрів трактується як інтелектуальне визначення та коригування порогів чутливості, допустимих меж відхилення та правил прийняття рішень відповідно до поточного стану системи. Такий підхід узгоджується з роботою [1], де розглядаються процеси досягнення рівноваги між адаптивністю та чутливістю виявлення.

Окремою проблемою є збільшення кількості хибних спрацювань через ранню фіксацію потенційно небезпечних змін системи спричиненою підвищенням чутливості діагностики. Послаблення порогів навпаки призводить до підвищення ризику пропуску реального вторгнення при спробі знизити хибні тривоги. У дослідженні [2] це реалізовано шляхом формування діагностичного залишку та його оцінювання відносно порогу тривоги в кіберфізичних системах з нелінійними властивостями сенсорів та обманними атаками.

Ще однією проблемою є вибір правил налаштування порогів в умовах зашумлених і неоднорідних даних. Для сучасних систем виявлення вторгнень важливо зі здатністю формування ознак аномалії мати можливість адаптивно уточнювати межі нормального стану без накопичення помилки самодіагностики.

У роботі [3] для кіберфізичних IoT-орієнтованих систем використано метод самоналаштовуваного вибору порогу. При цьому, самоналаштовуваний поріг розглядається як окремий

необхідний компонент системи виявлення вторгнень у кіберфізичну систему.

Попри наявні напрацювання, які прямо чи опосередковано спрямовані на вирішення зазначених проблемних питань, потребують додаткових досліджень проблеми формалізації правил автоматичного калібрування діагностичних параметрів у змінних умовах функціонування кіберфізичних систем. Передусім це стосується узгодження чутливості та достовірності виявлення, запобігання накопиченню помилки самоналаштування і побудови механізмів адаптації порогів.

Таким чином, автоматичне калібрування діагностичних параметрів з впровадженням інтелектуальної складової слід розглядати як необхідний елемент самодіагностики кіберфізичної системи в задачах виявлення вторгнень із забезпеченням адаптивних властивостей. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення правил адаптації порогів і вагових коефіцієнтів діагностичних ознак для забезпечення своєчасного виявлення відхилень стану системи без істотного зростання хибних спрацювань.

Список використаних джерел

1. Baek Y., Jo M. Adaptive threshold generation for fault detection with high dependability for cyber-physical systems. *Applied sciences*. 2018. Vol. 8, № 11. URL: https://doi.org/10.3390/app8112235 (дата звернення: 17.04.2026).

2. Li Y., Liu X., Peng L. An event-triggered fault detection approach in cyber-physical systems with sensor nonlinearities and deception attacks. Electronics. 2018. Vol. 7, № 9. URL: https://doi.org/10.3390/electronics709016 (дата звернення: 17.04.2026).

3. Catillo M., Pecchia A., Vallano U. CPS-GUARD: intrusion detection for cyber-physical systems and IoT devices using outlier-aware deep autoencoders. *Computers & Security*. 2023. URL: https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.10321 (дата звернення: 17.04.2026).

ПОВЕДІНКОВА МОДЕЛЬ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖЕВОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ SLIPS

Чернишук Сергій Вікторович
Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, sergiy.chernyshuk@ukr.net
Жуков Анатолій Олексійович
Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, anzhukov@ukr.net

BEHAVIORAL MODEL FOR NETWORK SECURITY MONITORING BASED ON THE SLIPS PLATFORM

Serhii Chernyshuk
PhD in technical sciences, associate professor department of information technology and cybersecurity, Korolyov Zhytomyr military institute, sergiy.chernyshuk@ukr.net
Anatolii Zhukov
Senior lecturer department of information technology and cybersecurity, Korolyov Zhytomyr military institute, anzhukov@ukr.net

Target attacks and complex malware require a shift to behavioral network analysis. Stratosphere Linux IPS (Slips) is a modular, ML-based system for detecting malicious patterns like botnets and C2 channels. Unlike traditional IDS, Slips analyzes "flows" using a specialized behavioral language. This paper examines Slips' architecture, core modules, and ML integration for anomaly detection in encrypted and complex environments.

Keywords: cybersecurity, Slips, behavioral analysis, machine learning, IDS/IPS, network flows, botnet detection, threat intelligence.

Сучасний ландшафт кіберзагроз характеризується появою складних цілеспрямованих атак (APT), які здатні тривалий час залишатися непоміченими всередині периметра мережі. Традиційні системи виявлення вторгнень (IDS), що базуються на

сигнатурному аналізі, демонструють низьку ефективність проти раніше невідомих вразливостей та зашифрованих каналів зв'язку.

У цьому контексті особливої актуальності набуває перехід до поведінкового моніторингу мережі (Network Behavioral Analysis). Одним із найбільш прогресивних інструментів у цій сфері є Stratosphere Linux IPS (Slips) - система з відкритим вихідним кодом, яка використовує машинне навчання для профілювання поведінки вузлів мережі та виявлення шкідливої активності без необхідності дешифрування контенту [1].

Об'єктом дослідження в межах застосування платформи Slips виступають мережеві потоки та складні поведінкові патерни вузлів, що дозволяє системі змістити фокус з аналізу окремих пакетів на семантику та логіку взаємодії між пристроями в інфраструктурі.

Основним завданням такої моделі аналізу є виявлення критичних кіберзагроз, серед яких пріоритетне місце посідають командні центри ботнетів та детекція періодичних сигналів шкідливого програмного забезпечення, що свідчать про приховану присутність інфікованих об'єктів. Крім того, архітектура Slips орієнтована на ідентифікацію розвідувальної активності у вигляді сканування портів і спроб горизонтального переміщення зловмисників усередині мережі, а також на виявлення потенційних витоків конфіденційних даних, що зазвичай супроводжуються аномальними сплесками обсягів вихідного трафіку. Такий комплексний підхід забезпечує глибоке розуміння стану безпеки системи, перетворюючи розрізнені мережеві події на цілісну картину поведінкової активності.

Архітектура Slips базується на модульному принципі, де кожен функціональний компонент виконує специфічну роль в аналізі, а координація та обмін даними між ними здійснюється через високопродуктивну базу даних Redis.

Ключовими елементами цієї структури є модулі вводу, що забезпечують підтримку широкого спектра джерел даних, включаючи Zeek, Suricata, Argus, pcap-файли або живий мережевий трафік, а також унікальна поведінкова модель Slips Language, яка трансформує мережеві потоки у текстові

послідовності - триграми. У такій моделі кожен символ відповідає конкретним характеристикам потоку, як-от тривалість, обсяг чи інтервал, що дозволяє залучати алгоритми обробки природної мови NLP для глибокого аналізу трафіку [2]. Доповнюють систему модуль машинного навчання, який використовує навчені моделі для класифікації поведінки вузлів та розпізнавання паттернів ботнетів, а також модуль аналізу загроз, що здійснює автоматичне порівняння активності з понад 50 динамічними фідами, включаючи IP-адреси, домени та JA3-відбитки [4]. Для ідентифікації інцидентів система реалізує багаторівневий підхід, що включає аналіз зашифрованого трафіку через цифрові відбитки TLS/SSL без необхідності доступу до корисного навантаження, статистичний аналіз інтервалів між з'єднаннями для виявлення періодичності C2-каналів, а також механізм евристичного оцінювання, де кожна підозріла подія підвищує сукупний коефіцієнт довіри до загрози, що при досягненні встановленого порогу ініціює сповіщення або блокування трафіку (рис. 1).

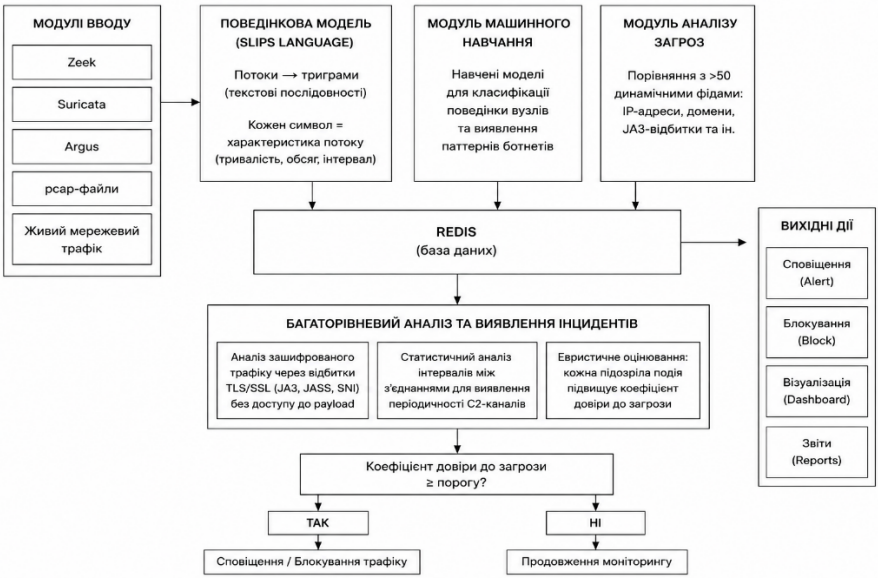


Рисунок 1. Схема аналізу мережевого трафіку та виявлення загроз у Slips

Практична цінність Slips полягає в її здатності працювати в Linux-середовищах як легкий та гнучкий IPS. Завдяки візуалізації через інтерфейс Kalipso, аналітики безпеки отримують структуровану інформацію про кожен вузол мережі, включаючи його географічне розташування, історію поведінки та виявлені аномалії [3].

Викликом при впровадженні залишається необхідність точного налаштування порогів чутливості для зменшення кількості хибних спрацювань у високонавантажених мережах, а також ресурсомісткість модулів глибокого навчання при аналізі гігабітних потоків.

Slips представляє собою нове покоління систем захисту, які базуються на інтелектуальному аналізі мережевої поведінки. Використання машинного навчання та унікальної мови опису потоків дозволяє системі ефективно виявляти приховані загрози та ботнети в реальному часі. Інтеграція Slips у сучасні SOC дозволяє значно посилити проактивну складову кіберзахисту організацій.

Список використаних джерел

1. Stratosphere Laboratory. (2024). Stratosphere Linux IPS (Slips) Official Documentation. GitHub Repository. Retrieved from https://github.com/stratosphereips/StratosphereLinuxIPS.

1. Garcia, S., Parmisano, A., & Erquiaga, M. (2020). Slips: A Behavioral-based Python Intrusion Prevention System using Machine Learning. Stratosphere IPS Project Whitepaper. Retrieved from https://www.stratosphereips.org/slips.

2. Bejtlich, R. (2013). The Practice of Network Security Monitoring: Understanding Incident Detection and Response (1st ed.). No Starch Press. https://nostarch.com/nsm.

3. Stratosphere Laboratory. (2021). Stratosphere IoT Dataset: Behavioral Analysis of Malicious IoT Traffic. Stratosphere IPS Datasets. Retrieved from https://www.stratosphereips.org/datasets-iot.

АНАЛІЗ СКЛАДНОСТІ ЗАДАЧІ GMLHRSP ДО АТАКИ НА ОСНОВІ РЕШІТОК

Шевченко Анастасія Євгенівна
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», НН ФТІ, студент
anastshevc-ipt27@lll.kpi.ua
Ядуха Дарія Вікторівна
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», НН ФТІ, асистент
yadukhadv-ipt@lll.kpi.ua

COMPLEXITY ANALYSIS OF THE GMLHRSP PROBLEM AGAINST LATTICE-BASED ATTACK

Anastasiia Shevchenko
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, IPT, Student
anastshevc-ipt27@lll.kpi.ua
Dariya Yadukha
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, IPT,
Assistant Lecturer, yadukhadv-ipt@lll.kpi.ua

This paper investigates the GMLHRSP problem, a modification of the post-quantum MLHRSP problem, and constructs an adapted Zheng-Yang attack based on the LLL lattice reduction algorithm. The findings demonstrate that switching to modular arithmetic modulo the generalized Mersenne number fails to eliminate the vulnerability to this type of attack, as the essential constraints on the problem parameters remain preserved.

Keywords: GMLHRSP problem, MLHRSP problem, AJPS cryptosystem, Mersenne numbers, generalized Mersenne numbers.

У 2017 році Національний інститут стандартів та технологій США (NIST) оголосив про можливий перехід на квантово-стійку криптографію та розпочав конкурс постквантових асиметричних криптосистем [0]. Одним з учасників конкурсу став механізм інкапсуляції ключів Mersenne-756839, стійкість якого ґрунтується на складності задачі ділення чисел з малою вагою Геммінга за модулем числа Мерсенна (MLHRSP) [0].

Означення 1 (Задача MLHRSP). *Нехай є число Мерсенна*

$M_n = 2^n - 1,\ n \in N$, *додатне ціле число h та нехай F та G – два випадкові лишки за модулем* M_n. *Число H обчислюється за формулою* $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_n$. *За відомими значеннями H, h,* M_n *необхідно знайти F і G.*

На сьогодні задача MLHRSP вважається обчислювально складною, адже жодна з застосованих атак не змогла розв'язати задачу MLHRSP для рекомендованих розмірів параметрів криптосистеми. У 2024 році М. Чжен та В. Ян запропонували атаку на основі решіток на задачу MLHRSP, переформулювавши її як задачу розв'язання системи поліноміальних рівнянь за модулем [0]. При побудові цієї атаки використовується лема Говрейва-Ґрема, яка визначає умови за яких рівняння за модулем можна звести до рівняння над цілими числами.

Лема 1 (Говрейв-Ґрем). *Нехай є поліном від n змінних* $g(x_1, \dots, x_n) \in Z[x_1, \cdots, x_n]$, *що містить не більше t мономів та нехай R,* $X_1, \dots, X_n$ *– додатні цілі числа. Якщо виконується:*

$1) g(x_1, \dots, x_n) \equiv 0 \bmod R,\ |x_1| < X_1,\ \dots,\ |x_n| < X_n;$

$2) \|g(X_1 x_1, \dots, X_n x_n)\| < \frac{R}{\sqrt{t}}$, *де* $\|\cdot\|$ *– норма полінома;*

то рівність $g(x_1, \dots, x_n) = 0$ *виконується для цілих чисел.*

У [0] побудовано модифікацію криптосистеми AJPS з використанням арифметики за модулем узагальнених чисел Мерсенна. Стійкість такої модифікації ґрунтується на складності задачі GMLHRSP [0].

Означення 2 (Задача GMLHRSP). *Маючи узагальнене число Мерсенна* $M_{n,m} = 2^n - 2^m - 1$, $n \in N$, $m \in N$, $n > m$, *число H та значення h, необхідно знайти два числа F та G, що мають вагу Геммінга h, та які задовольняють співвідношенню*

$$H = F \cdot G^{-1} \bmod M_{n,m}.$$

Аналіз складності задачі GMLHRSP передбачає дослідження можливості застосування атак, що були побудовані на оригінальну задачу MLHRSP, та перевірку їхньої результативності у разі використання альтернативного модуля.

Розглянемо побудову атаки Чжена-Яна на задачу GMLHRSP. Нехай маємо рівняння $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_{n,m}$. Помножимо його на *G* та перенесемо усі доданки у ліву частину

рівняння, тоді отримаємо $F - H \cdot G = 0 \; mod \; M_{n,m}$. Необхідно розв'язати це рівняння відносно невідомих F та G. Задамо функцію $f(x_1, x_2) = x_1 - H \cdot x_2 \; mod \; M_{n,m}$, тоді розв'язок задачі GMLHRSP є серед коренів рівняння $f(x_1, x_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}$. Задамо умови на F і G: $F < M_{n,m}^{\xi_1}$, $G < M_{n,m}^{\xi_2}$, де $0 \leq \xi_1, \xi_2 \leq 1$. Оскільки у поліномі $f(x_1,x_2)$ наявний множник H, що є великим псевдовипадковим числом, рівняння $f(x_1, x_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}$ неможливо звести до умов леми 1. Тому масштабуємо $f(x_1,x_2)$ у сімейство лінійно незалежних поліномів за модулем $M_{n,m}^{s}$.

Нехай маємо рівняння $f(x_1, x_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}$, серед коренів якого є пара (F, G), причому $F < M_{n,m}^{\xi_1}$, $G < M_{n,m}^{\xi_2}$, $0 \leq \xi_1, \xi_2 \leq 1$. Піднесемо його до степеня i та отримаємо $f^i(x_1, x_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}^{i}$. Оскільки необхідно, щоб побудовані поліноми мали модуль $M_{n,m}^{s}$, помножимо рівняння на $M_{n,m}^{s-i}$. Тоді маємо $M_{n,m}^{s-i} \cdot f^i(x_1, x_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}^{s}$. Збільшимо кількість рівнянь, помноживши отримане рівняння на x_2^{s-i}. Отже, з початкового рівняння утворено сімейство рівнянь виду

$$g_i(x_1, x_2) := M_{n,m}^{s-i} \cdot f^i(x_1, x_2) \cdot x_2^{s-i} = 0 \; mod \; M_{n,m}^{s},$$

серед коренів якого є пара (F, G) за спільним модулем $M_{n,m}^{s}$. Необхідно забезпечити щоб корені x_1 та x_2 підпадали під обмеження $F < M_{n,m}^{\xi_1}$, $G < M_{n,m}^{\xi_2}$. З отриманих поліномів буде будуватись базисна матриця решітки, проте, оскільки така матриця залежатиме від коефіцієнтів поліномів, необхідні обмеження на шукані корені рівнянь потрібно перенести у коефіцієнти поліномів, шляхом масштабування змінних, таким чином забезпечивши виконання першої умови леми 1. Визначимо X_1, X_2 як $X_1 = M_{n,m}^{\xi_1}$ та $X_2 = M_{n,m}^{\xi_2}$. Розглянемо значення x_1', x_2' такі, що $x_1' = \frac{F}{X_1}$ та $x_2' = \frac{G}{X_2}$. Оскільки $F < X_1$, $G < X_2$, то звідси випливає, що $0 < x_1', x_2' < 1$. Виразимо F та G: $F = x_1' X_1$ та $G = x_2' X_2$. Тоді будемо розв'язувати рівняння $g_i(x_1' X_1, x_2' X_2) = 0 \; mod \; M_{n,m}^{s}$.

З коефіцієнтів поліномів $g_i(x_1' X_1, x_2' X_2)$ формуємо рядки базисної матриці решітки B, при цьому встановлюється порядок мономів: $x_1^i x_2^{s-i} \prec x_1^{i'} x_2^{s-i'}$, якщо $i < i'$. Аналогічно визначається

порядок поліномів $g_i(x_1'X_1, x_2'X_2)$. Таким чином, утворюємо трикутну базисну матрицю B:

$$B = \begin{pmatrix} & x_2^2 & x_1x_2 & x_1^2 \\ g_0 & M_{n,m}^2X_2^2 & 0 & 0 \\ g_1 & -HM_{n,m}X_2^2 & M_{n,m}X_1X_2 & 0 \\ g_2 & H^2X_2^2 & -2HX_1X_2 & X_1^2 \end{pmatrix}$$

Через обраний порядок мономів, на діагоналі базисної матриці містяться елементи $X_1^iX_2^{s-i}M_{n,m}^{s-i}$ для $0 \le i \le 1$. Оскільки $i \in \overline{0,s}$, тоді розмірність решітки ω обчислюється як $\omega = \sum_{i=0}^{s} 1 = s + 1$.

Після застосування алгоритму LLL до побудованої базисної матриці решітки B отримаємо короткий майже ортогональний базис. Використовуючи значення $x_1 = x_1'X_1$, $x_2 = x_2'X_2$, отримані базисні вектори перетворюємо на поліноми виду $h_i(x_1, x_2)$. Оскільки отримані поліноми є лінійними комбінаціями поліномів $g_i(x_1'X_1, x_2'X_2)$, серед коренів яких є пара (F, G) за спільним модулем $M_{n,m}^s$, то поліноми $h_i(x_1, x_2)$ також будуть містити такий корінь за таким модулем.

Перевіримо чи виконується умова 2 леми Говрейва-Ґрема, що еквівалентно $\det(B) < M_{n,m}^{s\cdot\omega}$. Оскільки B є трикутною, то її визначник обчислюється як добуток діагональних елементів, тобто $\det(B) = M_{n,m}^{s_0}X_1^{s_0}X_2^{s_0}$, причому $s_0 = \frac{s(s+1)}{2}$. Тоді для забезпечення умови $\det(B) < M_{n,m}^{s\cdot\omega}$ необхідно, щоб виконувалось $\left(M_{n,m} \cdot X_1 \cdot X_2\right)^{\frac{s(s+1)}{2}} < M_{n,m}^{s(s+1)}$. Підставивши $X_1 = M_{n,m}^{\xi_1}$ та $X_2 = M_{n,m}^{\xi_2}$, маємо $M_{n,m}^{\frac{s(s+1)}{2}\cdot(1+\xi_1+\xi_2)} < M_{n,m}^{s(s+1)}$. Оскільки $M_{n,m} > 1$, можемо порівнювати лише показники степенів. Тоді маємо $\frac{s(s+1)}{2}(1 + \xi_1 + \xi_2) < s(s+1)$. Поділивши нерівність на $s(s+1)$, маємо $\frac{1}{2}(1 + \xi_1 + \xi_2) < 1$. Спростивши коефіцієнти, отримаємо нерівність, що забезпечує виконання другої умови леми 1 при $R = M_{n,m}^s$ та $t = s$:

$$\xi_1 + \xi_2 < 1.$$

Оскільки виконуються обидві умови леми Говрейва-Ґрема,

можемо перейти до пошуку розв'язку системи рівнянь $h_i(x_1, x_2) = 0,\ 0 \le i \le 1$ над цілими числами, використовуючи стандартні алгебраїчні підходи, в результаті чого отримаємо шукані параметри *F* та *G*.

Отже, для розв'язку задачі GMLHRSP значення шуканих параметрів F та G мають відповідати умовам $F < M_{n,m}^{\xi_1}$ та $G < M_{n,m}^{\xi_2}$, де $\xi_1 + \xi_2 < 1$. Як наслідок, для того щоб криптосистеми на основі задачі GMLHRSP були стійкими до такого типу атак на основі решіток необхідно забезпечити виконання умови $F \cdot G > M_{n,m}$.

Висновки. У роботі проведено аналіз складності задачі GMLHRSP, на основі якої ґрунтується стійкість модифікації криптосистеми AJPS. Побудовано атаку Чжена-Яна на задачу GMLHRSP, що передбачає зведення задачі до розв'язання системи поліноміальних рівнянь. В результаті дослідження встановлено критерій успіху атаки та необхідні обмеження на параметри задачі для забезпечення її стійкості. Показано, що перехід до арифметики за модулем узагальненого числа Мерсенна не усуває вразливості задачі до атаки Чжена-Яна.

Список використаних джерел

1. NIST's Post-Quantum Cryptography (PQC) Project. URL: https://csrc.nist.gov/pqc-standardization.

2. A New Public-Key Cryptosystem via Mersenne Numbers / D. Aggarwal, A. Joux, A. Prakash, M. Santha. Cryptology ePrint Archive, 2017. URL: https://ia.cr/2017/481.

3. Improved Lattice-Based Attack on Mersenne Low HammingRatio Search Problem / Zheng M., Yan W. Cryptology ePrint Archive, 2024. URL: https://eprint.iacr.org/2024/2080.

4. Yadukha D. The Modification of the Quantum-Resistant AJPS-1 Cryptographic Primitive. Theoretical and Applied Cybersecurity. 2022. Т. 4, вип. 1. URL: http://tacs.ipt.kpi.ua/article/view/274116.

ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ КІБЕРРИЗИКАМИ У ДІЯЛЬНОСТІ CERT/CSIRT НА ОСНОВІ ІНДИКАТОРІВ БЕЗПЕКИ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНЦИДЕНТІВ

Ящук Валентина Ігорівна
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, к.екон.н., доцент кафедри управління інформаційною безпекою, valentina.lender@gmail.com
Лукашов Олексій Андрійович
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, здобувач вищої освіти, lukashovoleksiy2008@gmail.com

INTEGRATED CYBER RISK MANAGEMENT MODEL IN CERT/CSIRT ACTIVITIES BASED ON SECURITY INDICATORS AND INCIDENT ASSESSMENT

Valentyna Yashchuk
Lviv State University of Life Safety, Ph.D. in Economics, Associate Professor, Department of Information Security Management, valentina.lender@gmail.com
Oleksiy Lukashov
Lviv State University of Life Safety, Graduate Student, lukashovoleksiy2008@gmail.com

The paper proposes an integrated model of cyber risk management in CERT/CSIRT activities, based on the use of security indicators and quantitative assessment of incidents. A mathematical apparatus has been developed to determine the level of risk and prioritize response. The effectiveness of the risk-based approach to increasing the cyber resilience of organizations has been substantiated.

Keywords: CERT, CSIRT, cyber risk, incident, security indicators, assessment, model.

Сучасні умови функціонування інформаційних систем характеризуються зростанням кількості та складності кіберзагроз, що обумовлює необхідність удосконалення

діяльності команд реагування на інциденти інформаційної безпеки (CERT/CSIRT). Одним із ключових напрямів підвищення ефективності їх функціонування є впровадження ризик-орієнтованих підходів до аналізу та обробки кіберінцидентів.

У класичних підходах діяльність CERT/CSIRT орієнтована переважно на реагування на інциденти без належної формалізації процесу оцінювання ризиків. Це призводить до неефективного розподілу ресурсів і затримок у реагуванні на критичні загрози. Вирішенням цієї проблеми є розроблення інтегрованої моделі управління кіберризиками, що поєднує процеси моніторингу, оцінювання та реагування.

Запропонована модель базується на класичному визначенні ризику як функції ймовірності виникнення події та величини збитків.

$$R_i = P_i * I_i \qquad (1),$$

де R_i — рівень ризику і-го інциденту;

P_i — ймовірність реалізації загрози;

I_i — вплив (збитки) від інциденту.

Для підвищення точності оцінювання пропонуємо використовувати систему індикаторів безпеки.

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} w_i * S_{ij} \qquad (2),$$

де S_{ij} — значення j-го індикатора для і-го інциденту;

w_j — ваговий коефіцієнт індикатора ($\sum w_j = 1$).

До основних індикаторів доцільно віднести рівень аномальної активності, критичність ураженого активу, рівень експлуатованості вразливості, ступінь поширення інциденту, час виявлення.

З урахуванням індикаторів модель набуває такого вигляду.

$$R_i = \left(\sum_{i=1}^{n} w_i * S_{ij}\right) * I_j \qquad (3),$$

Для нормалізації показників використовується шкала [0;1], що забезпечує уніфікацію оцінювання. Для оптимізації діяльності CERT/CSIRT пропонуємо ранжування інцидентів за рівнем ризику.

$$Priority_i = \frac{R_i}{\max(R)}, \qquad (4),$$

де $Priority_i \subset [0;1]$.

На основі отриманих значень формується така класифікація

- високий ризик $Priority_i > 0{,}7$;
- середній ризик $0{,}4 \leq Priority_i \leq 0{,}7$;
- низький ризик $Priority_i < 0{,}4$.

Запропонована модель інтегрується у цикл реагування на інциденти, наведена на рис. 1.

Рисунок 1. Цикл реагування на інциденти

Перевагами моделі є формалізація процесу прийняття рішень, можливість автоматизації, підвищення швидкості реагування, оптимізація використання ресурсів.

Ефективність впровадження моделі може бути оцінена за такими показниками.

$$E = \alpha \frac{(T_{before} - T_{after})}{T_{after}} + \beta \frac{N_{critical}}{N_{total}}, \qquad (5),$$

де T_{before}, T_{after} — час реагування до та після впровадження;

$N_{critical}$ — кількість критичних інцидентів, оброблених вчасно;

α, β — вагові коефіцієнти.

Запропонований підхід дозволяє перейти від реактивної моделі реагування до проактивного управління кіберризиками. Використання індикаторів безпеки забезпечує більш точне визначення ймовірності інцидентів, а інтегральна оцінка ризику — обґрунтовану пріоритезацію.

Особливої актуальності модель набуває для критичної

інформаційної інфраструктури, де швидкість та точність реагування є визначальними факторами забезпечення безпеки.

Отже, розроблена інтегрована модель управління кіберризиками у діяльності CERT/CSIRT базується на використанні індикаторів безпеки та кількісному оцінюванні інцидентів. Запропонована модель дозволяє підвищити ефективність реагування на інциденти, оптимізувати розподіл ресурсів, забезпечити формалізацію процесів прийняття рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на використання методів машинного навчання для адаптації вагових коефіцієнтів індикаторів у реальному часі.

Список використаних джерел

1. ISO/IEC 27005:2018. *Information technology — Security techniques — Information security risk management*. — Geneva: ISO, 2018.

2. ENISA. *CSIRT Handbook*. — Luxembourg: European Union Agency for Cybersecurity, 2022.

3. Полотай О., Брич Т., Ткаченко А., Ящук В., Федина Б. Інтегрований підхід до забезпечення кібербезпеки підприємства засобами етичного хакінгу та технічного захисту інформації // Кібербезпека: освіта, наука, техніка : електрон. фах. наук. вид. – 2025. – № 3 (31). – С. 113–128. – DOI: 10.28925/2663-4023.2025.31.1009.

4. NIST SP 800-61 Rev. 2. *Computer Security Incident Handling Guide*. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2012.

5. Alberts C., Dorofee A. *Managing Information Security Risks*. — Boston: Addison-Wesley, 2002.

6. Полотай О., Брич Т., Кухарська Н. Інтеграція систем виявлення вторгнень у корпоративні мережі // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2025.

OPTIMIZING ZK-BIOMETRIC COMPUTATIONS ON MOBILE DEVICES USING BINARY ARITHMETIC IN CIRCOM

Mykola Khranovskyi
PhD student at the Computer Aided Design Department, Lviv Polytechnic National University, Ukraine,
mykola.m.khranovskyi@lpnu.ua
Andriy Kernytskyy
PhD, Associate Professor at the Computer Aided Design Department, Lviv Polytechnic National University, Ukraine,
andriy.b.kernytskyy@lpnu.ua

Pure ZKML introduces significant computational overhead on mobile devices. We propose a hybrid TEE/ZK-SNARK architecture for efficient edge biometrics. CNN extraction and BioHashing execute off-circuit, using a discrete 512-bit template. Packed into 253+253+6 bits to prevent BN128 overflow, only Hamming Distance is proven on-chain. Tested on the SOCOFing dataset with synthetic alterations, it achieves 0.01% EER. With just 6,947 constraints, it generates mobile WASM proofs in ~3s, ensuring lightweight ZK authentication.

Keywords: Zero-Knowledge Proofs, Biometrics, Decentralised Identity, BioHashing, Edge Computing, zk-SNARK, Web3 Security.

Introduction

The integration of Web3 ecosystems and decentralized identity systems demands secure access control mechanisms that do not rely on centralized servers (Delgado-Mohatar et al., 2020). While biometric authentication offers a convenient solution, its application in public blockchain networks introduces a fundamental privacy conflict. Unlike cryptographic keys or passwords, physical biometric traits are immutable (Nandakumar & Jain, 2015). If a raw biometric template is exposed on a public decentralized ledger, it is permanently compromised and cannot be reissued. Therefore, processing unprotected biometric data in Web3 environments violates strict security requirements.

To address this privacy challenge, researchers increasingly apply Zero-Knowledge Proofs (ZKPs) (Groth, 2016), which allow a user to mathematically prove their identity without revealing the underlying data. A prominent theoretical approach is Zero-Knowledge Machine Learning (ZKML), where the entire feature extraction process—such as a Convolutional Neural Network (CNN)—is evaluated inside a cryptographic circuit (Liu et al., 2021). However, although pure ZKML frameworks provide strong mathematical security, they face critical performance bottlenecks on standard edge devices.

Executing a full neural network inside a ZK-SNARK environment generates millions of non-linear constraints. When such massive circuits are compiled for mobile devices, particularly within browser-based WebAssembly (WASM) environments, they demand substantial memory resources. This computational overhead can lead to Out-of-Memory (OOM) errors and significant proof generation delays, rendering pure ZKML computationally impractical for seamless mobile authentication.

Consequently, a clear performance gap exists: pure ZKML imposes excessive overhead on edge devices, whereas traditional off-chain matching lacks the mathematical verifiability required by decentralized networks. To bridge this gap, this paper proposes an optimized hybrid architecture. By securely offloading resource-intensive ML computations to a mobile Trusted Execution Environment (Pinto & Santos, 2019) and executing only lightweight binary arithmetic inside the ZK-circuit, the system achieves fast, private, and memory-efficient biometric authentication directly on edge devices.

Hybrid Architecture and Cancellable Biometrics

To overcome the computational bottlenecks of pure ZKML, the proposed system implements a modular hybrid architecture. Heavy computations—specifically, the extraction of a 512-dimensional continuous feature vector using the custom TinyFingerNet Convolutional Neural Network—are securely executed off-circuit within the mobile device's Trusted Execution Environment, such as ARM TrustZone (Pinto & Santos, 2019).

Directly evaluating continuous floating-point vectors inside a cryptographic circuit generates massive computational overhead. To resolve this and enable mobile proof generation, the architecture utilizes the BioHashing algorithm (Jin et al., 2004) to bridge the machine learning output with the ZK-SNARK environment. Inside the TEE, the continuous vector is multiplied by a user-specific pseudo-random orthogonal matrix and subjected to strict threshold binarization, yielding a discrete 512-bit string.

This binary quantization is the core enabler of the system's efficiency. By transforming the biometric template into a binary format, the system replaces complex floating-point mathematics with a lightweight bitwise Hamming Distance evaluation inside the ZK-circuit. This approach minimizes the constraint count, allowing for fast cryptographic proof generation on standard edge devices. Additionally, it provides native template cancelability: changing the local token generates a completely independent binary hash, securing the user's decentralized identity without requiring public Helper Data (Nandakumar & Jain, 2015). Consequently, this practical efficiency involves a fundamental trade-off: the architecture shifts the privacy burden from mathematically trustless ZKML guarantees to a strict reliance on hardware enclave security (TEE) and continuous token secrecy.

ZK-SNARK Circuit Design and Binary Arithmetic

To evaluate biometric similarity within a cryptographic environment, the system utilizes bitwise Hamming Distance instead of continuous floating-point operations. Because BioHashing natively generates a discrete 512-bit binary space, the matching logic inside the zero-knowledge circuit remains mathematically identical to the off-circuit evaluation, ensuring zero on-chain accuracy degradation. Replacing heavy floating-point arithmetic with efficient binary operations reduces the computational overhead for edge devices.

To securely process this 512-bit template within the zk-SNARK constraints, the Circom circuit must prevent cryptographic field overflow. SNARKs operate over the scalar field of an elliptic curve, such as BN128 (Barreto & Naehrig, 2005), which safely accommodates roughly 253 bits per element. Instead of attempting to

pack the entire array into a single element—which causes silent mathematical collisions—the proposed design safely splits the template into a 253+253+6 bit structure. This guarantees absolute cryptographic integrity without overflowing the scalar field.

Finally, to further optimize the circuit for mobile execution, standard hash functions like SHA-256 are replaced with the SNARK-friendly Poseidon algorithm for computing Identity Commitments and Merkle tree inclusions. This design minimizes the circuit's footprint to 6,947 Rank-1 Constraint System (R1CS) non-linear constraints, enabling fast proof generation.

Experimental Results and Benchmarks

To evaluate practical viability, the compiled ZK-circuit was benchmarked in a mobile WebAssembly (WASM) environment. Replacing floating-point ML inference with bitwise Hamming Distance calculations, and substituting standard SHA-256 with the SNARK-friendly Poseidon hash, optimized the circuit to strictly 6,947 R1CS non-linear constraints. On a mid-range smartphone (Xiaomi Redmi Note 10 Pro, Snapdragon 732G, 6 GB RAM), the full Groth16 proof generation cycle (Groth, 2016) executes in ~3 seconds. Furthermore, RAM consumption by the WASM module remains under 20 MB. This efficiency completely eliminates the OOM errors typical of pure ZKML solutions on edge devices.

Biometric performance was evaluated under a Subject-Disjoint protocol following FVC testing standards (Maio et al., 2002), utilizing the SOCOFing dataset with synthetic alterations. Because BioHashing natively generates a discrete 512-bit array inside the TEE, the matching logic within the ZK-circuit is mathematically identical to off-chain evaluation. This guarantees zero accuracy degradation during the on-chain transition, allowing the system to maintain a 0.01% Equal Error Rate (EER) at an optimal decision threshold of 70 bits. Additionally, unlinkability analysis yielded a mean Hamming Distance of 255.7 bits between templates derived from the same fingerprint using different tokens. This result is close to white noise expectation of 256.0 bits, effectively preventing cross-matching attacks even if a decentralized database is compromised (Gomez-Barrero et al., 2018).

Conclusions

This paper presents a hybrid decentralized biometric authentication architecture that can effectively run in Web3 ecosystems without causing edge-device overload. By delegating feature extraction and BioHashing to a hardware Trusted Execution Environment (TEE), the protocol eliminates the need for public Helper Data. This ensures 255.7-bit template unlinkability, providing robust protection against cross-matching attacks. Transitioning from continuous floating-point inferences to bitwise Hamming Distance evaluations minimizes the ZK-circuit footprint to strictly 6,947 non-linear constraints.

Consequently, the developed protocol generates Groth16 zero-knowledge proofs directly within a mobile web browser (WASM) in ~3 seconds, utilizing under 20 MB of RAM. Because the circuit strictly evaluates discrete binary strings, the system guarantees zero accuracy degradation during on-chain verification, preserving the 0.01% EER established on the SOCOFing dataset. While this hybrid approach trades pure cryptographic ZKML guarantees for a hardware trust assumption (TEE dependency), it demonstrates high practical viability for resolving the biometric revocability problem on edge devices.

References

1. Delgado-Mohatar, O., Fierrez, J., Tolosana, R., & Vera-Rodriguez, R. (2020). Blockchain and Biometrics: A First Look into Opportunities and Challenges. *IEEE Blockchain Technology and Applications, pp.169-177,* DOI:10.1007/978-3-030-23813-1_21.

2. Barreto, P. S., & Naehrig, M. (2005). Pairing-friendly elliptic curves of prime order. In *Selected Areas in Cryptography* (pp. 319–331). Springer.

3. Gomez-Barrero, M., Galbally, J., Rathgeb, C., & Busch, C. (2018). General framework to evaluate unlinkability in biometric template protection systems. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 13*(6), 1406–1420.

4. Groth, J. (2016). On the size of pairing-based non-interactive arguments. In *Advances in Cryptology–EUROCRYPT 2016*

(pp. 305–326). Springer.

5. Jin, A. T. B., Ling, D. N. C., & Goh, A. (2004). BioHashing: Two factor authentication featuring fingerprint data and token randomised code. *Pattern Recognition, 37*(11), 2245–2255.

6. Liu, T., Xie, X., & Zhang, Y. (2021). zkCNN: Zero knowledge proofs for convolutional neural network predictions and accuracy. In *Proceedings of the 2021 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 2965–2980).

7. Maio, D., Maltoni, D., Cappelli, R., Wayman, J. L., & Jain, A. K. (2002). FVC2000: Fingerprint verification competition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24*(3), 402–412.

8. Nandakumar, K., & Jain, A. K. (2015). Biometric template protection: Bridging the performance gap between theory and practice. *IEEE Signal Processing Magazine, 32*(5), 88–100.

9. Pinto, S., & Santos, N. (2019). Demystifying Arm TrustZone: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys (CSUR), 51*(6), 1–36.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED NEWS COLLECTION AND AGGREGATION SYSTEM FOR OSINT ANALYSIS

Valerii Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, Head of the Computer Science Department,
v.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua
Maksim Iavich
School of Technologies, Caucasus University, Tbilisi, Georgia,
miavich@cu.edu.ge

*This study details an automated OSINT/CTI pipeline for unstructured news analysis. It integrates the TRACE framework, which expands knowledge graphs with a 1.8*increase in node coverage, and the LANCE component, utilizing explainable AI to reduce IoC labeling time by 43%. Factual reliability is maintained through Retrieval-Augmented Generation (RAG) validated by RAGAS metrics. The architecture incorporates MinHash deduplication and Bloom filters for efficient, large-scale data stream processing.*

Keywords: OSINT, CTI, TRACE, LANCE, RAG, Knowledge Graphs, LLMs, Bloom Filters.

The modern cybersecurity landscape is characterized by an unprecedented volume of information, where over 90% of actionable intelligence is buried within unstructured data—news articles, technical blogs, and incident reports. Open Source Intelligence (OSINT) has transitioned from a manual investigative practice to a highly automated engineering discipline. This report details the development of an intelligent pipeline for the collection, aggregation, and analysis of news data, leveraging state-of-the-art Large Language Models (LLMs) and specialized knowledge representation frameworks.

Conceptual Framework and Knowledge Representation. Traditional OSINT systems often suffer from "hysteresis"— a delay in updating structured databases (such as CVE or NVD) relative to the actual emergence of threats in the wild. To bridge this gap, the TRACE

(Timely Retrieval and Alignment for Cybersecurity Knowledge) framework was introduced in 2026. TRACE integrates knowledge from 24 structured databases and three categories of unstructured sources: APT reports, academic papers, and software repair notices.

The core of the system is the construction of a Cybersecurity Knowledge Graph (CKG). As defined by Sikos, a CKG represents cyber-knowledge using a graph-based data model, allowing analysts to visualize attack paths and discover hidden correlations between seemingly disparate news events. TRACE employs LLMs to facilitate efficient entity extraction and alignment, achieving a 1.8*increase in node coverage compared to traditional static graphs.

The data acquisition layer utilizes specialized Python libraries such as Newspaper4k and Trafilatura to extract clean text, metadata, and publication dates from news portals while bypassing anti-bot mechanisms. However, general-purpose tokenizers often fail to represent specialized CTI terminology correctly; for instance, SecurityBERT covers only 1.62% of the MITRE ATT&CK software dictionary.

To maintain system efficiency, deduplication is performed at the ingestion stage. For large-scale OSINT datasets, MinHash has been proven to outperform SimHash in high-similarity regions, particularly when dealing with sparse binary data like news text. The resemblance R between two document sets A and B is calculated using the Jaccard similarity coefficient:

$$R(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Intelligent Analysis and IoC Labeling (LANCE). A critical component of the pipeline is the LANCE (LLM-based labeling) system. LANCE automates the extraction and classification of Indicators of Compromise (IoCs), such as IP addresses, domains, and file hashes, from unstructured reports. Unlike "black-box" models, LANCE provides natural language justifications for its labels, enabling a Human-in-the-Loop (HITL) paradigm.

Analyst efficiency is further improved by a color-coded interface

where red indicates malicious IoCs and green indicates non-malicious artifacts. Empirical evaluations show that LANCE-supported labeling reduces the time required for manual validation by 43%.

Mathematical Optimization of Data Streams. To optimize memory usage and prevent redundant processing of high-volume feeds (e.g., certificate logs or RSS streams), the system implements Bloom Filters. The probability of a false positive p is minimized by adjusting the bit-array size m and the number of hash functions k according to the expected number of elements n:

$$m = -\frac{n \ln p}{(\ln 2)^2}$$
$$k = \frac{m}{n} \ln 2$$

Retrieval-Augmented Generation (RAG) and Validation. To minimize LLM hallucinations, the system employs Retrieval-Augmented Generation (RAG). The RAGIntel framework enhances accuracy by grounding the model's responses in verifiable, citable source documents retrieved from the CKG. Performance is validated using the RAGAS suite, which measures three core metrics:

Faithfulness: The extent to which the generated answer is supported by the retrieved context.

Context Recall: The ability of the retriever to find all relevant information required to answer the query.

Context Precision: The signal-to-noise ratio of the retrieved data chunks.

Security Risks and Adversarial Threats. The integration of GAI into OSINT also introduces new risks. PoisonedRAG attacks demonstrate that malicious actors can inject misleading information into public news sources, potentially corrupting the CKG and leading the system to generate incorrect defense strategies. Continuous model validation and robust anomaly detection within the graph remain essential for maintaining the integrity of the intelligence pipeline.

The development of an automated OSINT news aggregation system represents a shift toward proactive cyber defense. By

combining the TRACE framework for graph-based knowledge expansion, the LANCE system for explainable IoC labeling, and RAG architectures for factual grounding, organizations can achieve a high level of cyber-situational awareness. Future research must focus on the resilience of these systems against adversarial data poisoning and the improvement of specialized tokenization for the cybersecurity domain.

References

1. Chen Y., Cui M., Wang D., et al. A survey of large language models for cyber threat detection. Computers & Security. 2024. Vol. 145. P. 104016. URL: https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.104016.

2. Sikos L. F. Cybersecurity knowledge graphs. Knowledge and Information Systems. 2023. Vol. 65, no. 9. P. 3511–3531. URL: https://doi.org/10.1007/s10115-023-01860-3.

3. Xu Z., Ning Z., Hu T., et al. TRACE: Timely Retrieval and Alignment for Cybersecurity Knowledge Graph Construction and Expansion. arXiv preprint. 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2602.11211.

4. Almashhadani A. LANCE: The LLM–based labeling component for IoC extraction from unstructured threat reports. arXiv preprint. 2025. URL: https://arxiv.org/html/2506.11325v2.

FEATURES OF USING AN EFFECTIVE METHOD OF CONNECTING TO THE INTERNET

Martsenyuk Vasyl
University of Bielsko-Biała, Poland
Doctor of Technical Sciences, Professor,
marceniuk@yahoo.com
Andrushchak Igor
LNTU, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Software Engineering
9000@lntu.edu.ua

The purpose of the article is to study all the ways of connecting to the Internet, to conduct an analysis and to get an answer to the question: "which method is the most common among users?" and "which method is the most effective?".

Keywords: Internet, Internet connection, connection methods, global network, modem, Wi-Fi.

Just ten years ago, only a few options for connecting to the global network were available to the average user, and all of them were characterized by high cost, low speed and, as a rule, not very stable connection, which in turn was due to the fact that at that time in our country there were no technologies that could provide a large number of users with stable high-speed Internet in a way that would be commercially profitable.

But, fortunately, over the years, network technologies have developed so rapidly that today even a budget tariff plan of any telecommunications operator covers almost all the needs of the average user. And you can connect to the global network in many ways that everyone can choose for themselves, based on their tasks, capabilities and conditions, for example, currently available technologies are:

- Dial-Up modem;
- ADSL modem;
- Mobile phone;
- Cable television;

- Dedicated channel;
- connection using a special antenna (radio Internet);
- CDMA or GSM modem;
- Satellite Internet [1].

Of course, the methods differ from each other, some of them are already outdated, and they are either not used at all or are rarely used.

The first thing to mention is the Dial-Up modem. To access the Internet, you need a dial-up modem and a landline phone. It has been used for more than a decade, as a rule, such a modem was always accompanied by a device called an "ADSL splitter", its task was to "split" the signal from the telephone cable into a modem and a home phone. This is why it was impossible to call the user's home phone when connected to the Internet.

Today, it is very rare to find such a connection method, since it is inferior to its competitors in many ways. The low data transfer speed, the inability to download large files, the high fee and the lack of home phones for most subscribers are gradually moving Dial-Up modems from computer desks to museum showcases, but this is, of course, for the better.

The once popular Dial-Up modem was replaced by a more technological and advanced competitor. Over time, a more modern method became available to users - connecting via an ADSL modem. This method of communication has many more advantages. ADSL is already a digital modem, with a high and high-quality data transfer rate of up to 24 Mbps on average, which even today can cover most of the needs of the average user. An indisputable advantage is also that the home phone continues to work when connected to the Internet, and there is also the possibility of connecting to unlimited Internet. Of the minuses, only the high cost [2].

Today, perhaps, the most common way to connect to the Internet among users is to connect via a mobile phone. Gone are the days when accessing the Internet via a phone was very expensive or completely impossible. The popularity of this method is ensured by convenience, low cost, a large amount of content that modern phones can play, and a very large number of phones themselves. Now almost everyone has a smartphone. It is necessary that the phone has GPRS or EDG

protocols.

Data quality and speed are proportional to the price, which is not high. The only thing that can be expensive is the modem itself. Another popular connection method, via a dedicated line or WiFi, is one of the leaders in network technology. The advantage is the quality of the cable lines, which are laid underground rather than above ground, making breaks or physical damage to the cable virtually impossible. Moreover, this connection can be established with or without a wire [3].

Connecting to the internet using a special antenna to receive a signal is not a very popular method, given the many alternatives described above. This is another compromise solution for a relatively small number of users. It is used when the internet provider, for objective reasons, cannot lay a cable to the connection point, but can set up a wireless access point.

Currently, another method is relatively popular, which stands out among others for its mobility and independence from a mobile device. Any CDMA or GSM operator provides Internet services that can be purchased. But the data transfer speed and quality are the same as when connecting via telephone [4].

Nowadays, satellite Internet connection is becoming more and more widespread. The number of providers providing services is increasing, and due to competition, the price is accordingly decreasing. Satellite Internet is used where there is no other alternative, while the user can be anywhere. Satellite Internet can be classified into two groups: one-way and two-way. One-way works only for reception, two-way - for reception and sending. This connection method has both advantages and disadvantages.

Having considered all the connection methods, having learned about all the pros and cons, we can conduct an analysis and answer the question of an effective way to connect to the Internet. As a result of the survey, it was found that more than 70% of users use a modem when connecting to the Internet. In second place are a dedicated line or WiFi, which are used by 11.15% of the audience. All other methods are used extremely rarely. Based on the survey data, we can assume that a modem connection is the simplest way to get used to using the

Internet. Most often, such a connection is quite enough for users. But if you need high speed and quality, then it is better to choose satellite Internet, a digital channel or radio Internet.

References:

1. Andrushchak, I., Kosheliuk, V., Yasashnyi, D. Improving container security with honeypot deployment. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 4(3), (2025). pp. 15-26. https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250403.02 URL: https://isg-journal.com/isjea/article/view/1024

2. Olianin, D., Tsupryk, H., Hovorushchenko, T., Bahrii-Zaiats, O., Andrushchak, I. Transformer neural networks in Industry 4.0. Ceur Workshop ProceedingsOpen source preview, 2025, 4057, pp. 331-336. (Scopus). URL: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54882165900

3. Lakhno V. A., Vasiliu E. V., Gladkikh V. M., Domrachev V. M., Syvkova N. M. Methods and means of information protection [Textbook] Kyiv: Comprint Publishing House, 2021. 444 p.

4. Nosok S., Fal M., Tkach V. Information security management: lecture notes: textbook for students of speciality 125 "Cybersecurity" / Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. 258 p.

AI-ORIENTED APPROACH TO SAFE PRIME SEARCH

Maslova Natalia
Lviv State University of Life Safety / Donetsk National Technical University, PhD, Associate Professor,
masgpp2@gmail.com,
Liubymenko Olena
Donetsk National Technical University / Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor,
olena.liubymenko@donntu.edu.ua
Shtepa Oleksandr
Donetsk National Technical University, PhD, Associate Professor
oleksandr.shtepa@donntu.edu.ua

The article examines the possibility of applying artificial intelligence methods to improve the efficiency of safe prime number search, which is widely used in modern cryptographic protocols, particularly Diffie–Hellman and DSA. The paper analyzes the main stages of AI-oriented safe prime search, including prime number generation, candidate formation, analysis of numerical characteristics, ranking, and subsequent cryptographic verification. It is shown that intelligent preliminary selection can increase search speed, improve algorithm scalability, and enhance the efficiency of processing large numerical ranges without reducing the cryptographic reliability of the generated parameters.

Keywords: artificial intelligence, cryptography, safe prime numbers, machine learning, Atkin sieve

Modern cryptographic systems actively use large prime numbers to implement information protection mechanisms, digital signatures, and secure key exchange. Of particular importance are safe prime numbers, which are used in the Diffie–Hellman and DSA cryptographic protocols. Classical methods of safe prime search ensure the cryptographic reliability of parameter generation; however, they do not provide efficient preliminary intelligent selection of promising candidates and require significant computational resources when processing large bit ranges. This determines the relevance of

applying artificial intelligence methods to optimize this process.

The purpose of this work is to develop an AI-oriented approach to safe prime search through the integration of machine learning models with classical cryptographic primality testing algorithms.

A safe prime is defined as a prime number of the form:

$$p = 2q+1,$$

were q – is also a prime number.

The use of such numbers makes it possible to form cryptographically secure large-order subgroups and reduces the risk of small subgroup attacks.

The classical approach to generating safe prime numbers includes:

- generation of a random prime number q;
- computation of p=2q+1;
- primality testing of p using the Miller–Rabin test.

To implement the AI component, classification models, decision trees, or neural networks focused on analyzing the properties of numerical sequences may be applied.

To evaluate the potential advantages of integrating artificial intelligence methods into the safe prime search process, a comparison of the classical and AI-oriented approaches was performed according to key efficiency characteristics (Table 1).

Table 1. Comparison of classical and AI-oriented approaches

Characteristic	Classical approach	AI-oriented approac
Candidate generation	Sequential enumeration	Intelligent selection
Main mechanism	Atkin sieve	ML model + Atkin sieve
Number of checks	High	Optimized
Search speed	Moderate	Increased
Scalability	Limited	High
Adaptability	Fixed criteria	Adaptive ranking capability

The proposed work integrates artificial intelligence methods into the preliminary candidate analysis stage. The machine learning model analyzes numerical patterns, bit structure, modular characteristics, and frequency properties of prime numbers, after which it ranks candidates according to the probability of belonging to the safe prime set. In particular, the bit length of the number, residues modulo small prime numbers, the density of prime numbers within a local range, and frequency characteristics of numerical sequences may be considered.

Within the scope of the study, AI was considered as an auxiliary heuristic mechanism for early prediction of promising candidates rather than a replacement for classical cryptographic primality testing algorithms. The novelty of the approach lies in combining classical number theory algorithms with an AI-oriented mechanism for preliminary ranking of candidates belonging to the safe prime set.

The proposed approach makes it possible to reduce the number of non-promising candidates before applying cryptographic tests. At the same time, AI does not replace classical primality testing methods but performs the function of intelligent preliminary filtering.

The study employed a combined approach in which the Atkin sieve performs the primary search for prime numbers, while the AI model ranks the obtained values according to the probability of belonging to the safe prime set. After that, cryptographic verification is performed using the Miller–Rabin test (Table 2).

Table 2. Stages of AI-oriented safe prime search

Stage	Generation of prime numbers (q)
1	Generation of prime numbers (q)
2	Formation of candidates (p=2q+1)
3	AI analysis of numerical characteristics
4	Candidate ranking
5	Miller–Rabin primality testing
6	Formation of cryptographic parameters

Thus, integrating the AI model into the safe prime generation process makes it possible to transfer part of the computational

workload from the cryptographic verification stage to the stage of intelligent candidate prediction.

To evaluate the efficiency of the approaches, a comparative analysis was carried out according to the criteria of processing speed, number of checks, and algorithm scalability (Fig. 1).

It was established that the number of safe prime numbers is significantly smaller than the number of ordinary prime numbers. For example, within the range [1;2000], there are 303 prime numbers, but only 45 safe primes. This confirms the feasibility of applying intelligent mechanisms for preliminary candidate selection.

It was established that the number of safe prime numbers is significantly smaller than the number of ordinary prime numbers. For example, within the range [1;2000], there are 303 prime numbers, but only 45 safe primes. This confirms the feasibility of applying intelligent mechanisms for preliminary candidate selection.

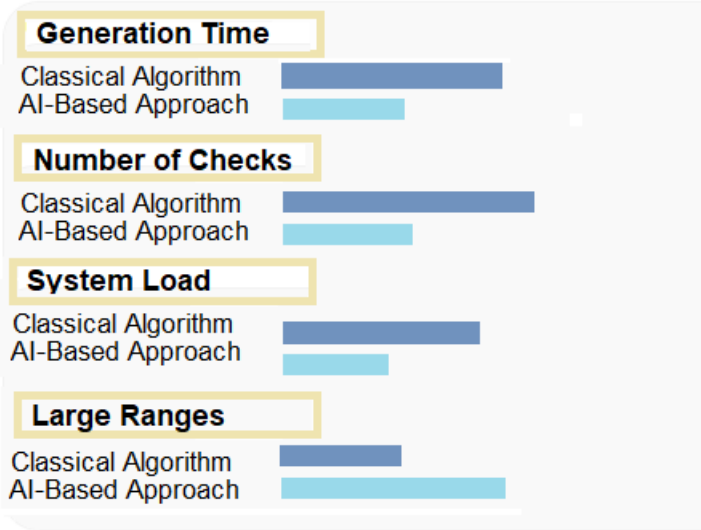


Figure 1. Comparison of the efficiency of classical and AI-oriented approaches to safe prime search

The practical significance of the study lies in reducing the number of non-promising checks during the generation of cryptographic parameters for the Diffie–Hellman and DSA protocols. The proposed AI-oriented approach can be used in cryptographic key

generation systems where processing speed, scalability, and efficiency of large numerical range processing are critical.

The obtained results confirm the перспективність integration of AI methods into safe prime cryptographic generation tasks and demonstrate the potential for reducing computational costs while maintaining the cryptographic strength of algorithms.

References

1. Assoujaa I., Ezzouak S. Artificial Intelligence Usage in Cryptography. 2024 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV). 2024. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21615.24483

2. Tkachuk R. L., Maslova N. O., Ivanusa A. I. Fundamentals of Information Security and Cyber Protection : Study Guide. Lviv : Lviv State University of Life Safety, 2026. 271 p. ISBN 978-617-8654-19-1. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/17461 (дата звернення: 12.05.2026).

3. Sholomynskyi Yu. R., Maslova N. O., Balatska V. S. Cryptographic Aspects of Safe Prime Number Generation. VIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference “Computer Technologies: Innovations, Problems, Solutions”, December 02–03, 2025, Zhytomyr. 2025. P. 81–82.

4. Kravchuk V. S., Maslova N. O., Dorohyi Ya. Yu. Automated Search for XSS Vulnerabilities in Web Applications Based on a Multi-Agent Approach. Scientific Works of DonNTU. Series “Computer Engineering and Automation”. 2025. Vol. 3, No. 4(36). P. 19–30. DOI: https://doi.org/10.31474/2786-9024/v3i4(36).324435

FIREWALLS: ASPECTS OF MODERN RESEARCH IN SECURITY METHODS AND THREATS

Sverstyuk Andriy
Ternopil National Medical University
named after I. Ya. Gorbachevsky,
marceniuk@yahoo.com
Andrushchak Igor
LNTU, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Software Engineering
9000@lntu.edu.ua

Web security has become a major concern in the current scenario. This article examines web security with a focus on firewalls and how they can help protect your system and the Internet. A firewall is a part of a computer or network system that is configured to prevent data exchange with unauthorized sources and allow access from authorized sources. It also discusses the methods and types of firewalls.

Keywords: threats, internet, security, firewall, computer traffic, packet filters, access control list.

Security is the most important aspect of a system. There are many ideas for system security. A firewall is prominent among the most important ideas related to system security. A firewall can be implemented as software or can be hardware that primarily blocks unauthorized data communication going out or coming into a network. There are many security software available at the system or network level [1].

Similarly, firewall devices are also used to provide system security. Servers usually have multiple layers of security to ensure the security of information and data. The inner layer of network security is the access rights layer.

The purpose of this layer is to manage assets (data) and rights (client rights to access assets). This layer deals with allocations, organizers, and records. The next layer (second) restricts the account by allowing the calculation of user name and password information

(password/login). This is a commonly used method of assurance because of its simplicity, straightforwardness, efficiency, and very strong impact. The administrator is required to monitor and process the operations of different users. The third outer layer used a method of encrypting information, called data encryption. The information is encrypted using a specific algorithm, so even if someone tries to access the information, they will not be able to verify it without the encryption key. The outer or peripheral layer, called a firewall, prevents intrusions and filters unwanted outgoing or incoming information packets [2].

Before we learn how a firewall works, we need to understand what it can and cannot do.

The wide range of firewalls have some common features and capabilities to distinguish what a firewall can do. In fact, a firewall should have the following basic capabilities:

- control and organize traffic;
- authenticate access;
- protect organizational assets;
- act as a mediator;
- protect network resources from malicious actions;
- provide secure and safe access to internal resources to external users.

A firewall is only an external layer of protection, so it cannot do everything. It is only an artificial machine, so it cannot classify information as better or worse. It can only square traffic with simple attributes. Also, a firewall cannot prevent an attack if it does not pass through it [3].

In summary, a firewall cannot play the role of an antivirus scanner due to its processing speed, the regular appearance of viruses, and data encryption to mask the virus. Despite this, it is considered one of the most widely used protection methods today.

There are several firewall procedures, and each firewall can use at least two of the two methods shown. One of the major challenges that any organization faces when trying to check its sensitive information is finding the right appliances for this activity. Even for a typical tool such as a firewall, many organizations will probably not have a clear idea of how to find the right firewall for their

requirements, how to design these firewalls, or why such firewalls may be vital. The initial step in finding the right firewalls to secure your organization's information is to understand what firewalls exist.

References:

1. Yevseev S. P., Milov O. V., Ostapov S. E., Severinov O. V. Cybersecurity: basics of coding and cryptography. Kharkiv: Publishing house "Novyi Svit-2000", 2023. 657p. https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1wOTN8NGBGO06AnvjQHU1SdBl3xCaUju

2. Lakhno V. A., Vasiliu E. V., Gladkikh V. M., Domrachev V. M., Syvkova N. M. Methods and means of information protection [Textbook] K.: CP "Komprint" O.V., 2021. 444 p.

3. Nosok S., Fal M., Tkach V. Information security management: lecture notes: textbook for students of special. 125 "Cybersecurity" / Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. 258 p.

CYBERSECURITY AND INFORMATION PROTECTION IN THE DIGITAL AGE: THREATS, PRINCIPLES, AND PREVENTIVE STRATEGIES

Anastasiia Urupa
National University of Life
and Environmental Sciences of Ukraine,
Bachelor's degree student,
Faculty of Information Technologies
ipz25-a.urupa@nubip.edu.ua
Indira Renska
National University of Life
and Environmental Sciences of Ukraine,
Senior Lecturer of the English Philology Department
renska@nubip.edu.ua

The relevance of cybersecurity and information protection in the context of rapid digitalization is examined. The main types of cyber threats and the fundamental principles of information security are analyzed. Special attention is paid to preventive strategies and user awareness as key factors in ensuring data protection in modern digital environments.

Keywords: cybersecurity, information protection, cyber threats, data security, malware, phishing.

Cybersecurity is defined as the protection of computer systems, networks, and data from cyberattacks and unauthorized access. In the contemporary digital environment, the Internet is widely used for communication, education, professional activities, and entertainment. Consequently, cybersecurity has become a critical component of both individual and organizational safety.

Information protection is understood as the process of safeguarding data from loss, theft, or damage. Personal data, including passwords, contact details, financial information, and digital content, are particularly vulnerable to cyber threats. It is widely recognized that unauthorized access to such data may result in fraud, identity theft, and other forms of cybercrime. Therefore, the importance of responsible

online behavior is increasingly emphasized.

The fundamental principles of information protection are commonly defined as confidentiality, integrity, and availability. Confidentiality ensures that access to information is restricted to authorized users. Integrity guarantees that data remains accurate and unaltered by unauthorized parties. Availability implies that information is accessible to users when required. These principles form the basis of secure information systems.

A wide range of cyber threats has been identified, and their complexity continues to increase. Malware is considered one of the most распространених forms of cyber threats. It includes malicious software such as viruses, worms, trojans, and spyware, which are designed to damage systems, disrupt operations, or steal information. Each type operates differently; however, all pose significant risks to information security. Phishing attacks are also frequently encountered. In such cases, fraudulent messages are distributed in order to deceive users into disclosing sensitive information. These messages are often disguised as communications from legitimate organizations. As a result, users may unintentionally compromise their personal or financial data.

Ransomware represents another serious cybersecurity threat. It is characterized by the restriction of access to data or systems, followed by demands for payment to restore access. Such attacks may affect individuals, private companies, and public institutions, including healthcare and governmental organizations.

Unauthorized access to systems, commonly referred to as hacking, is also widely observed. Through such activities, data may be stolen, altered, or destroyed, leading to financial losses and reputational damage. To mitigate cybersecurity risks, several preventive measures are recommended. Strong passwords should be created using a combination of letters, numbers, and symbols, and different passwords should be used for different accounts. In addition, two-factor authentication is increasingly applied as an additional layer of security.

Users are advised to exercise caution when interacting with digital content. Suspicious emails, unknown links, and unverified

downloads should be avoided. Using public Wi-Fi networks for sensitive activities is generally discouraged due to the increased risk of data interception. Technical protection measures also play a significant role. Antivirus software detects and eliminates malicious programs, while firewalls control network traffic. Regular software updates are required to address security vulnerabilities and improve system protection.

Encryption technologies are widely applied to secure data by converting it into encoded formats accessible only to authorized users. Backup systems are also considered essential, as they enable data recovery in the event of loss or cyberattacks.

At the organizational level, cybersecurity policies and employee training are regarded as crucial components of information protection. It has been observed that many cyber incidents are caused by human error; therefore, awareness and education are particularly important.

The growing use of cloud technologies and Internet of Things (IoT) devices has introduced additional cybersecurity challenges. As more data is stored and transmitted online, the need for reliable protection mechanisms becomes even more urgent. At the same time, artificial intelligence is increasingly utilized to detect anomalies and prevent cyber threats, although it is also being exploited by attackers.

In conclusion, cybersecurity and information protection are essential elements of modern digital society. It has been demonstrated that the increasing complexity of cyber threats requires both technological solutions and user awareness. The implementation of preventive strategies, combined with continuous education and technological development, is considered fundamental for ensuring data security. Therefore, promoting cybersecurity practices should be a priority in both individual and institutional contexts.

References

Stallings, W. (2017). Effective Cybersecurity: A Guide to Using Best Practices and Standards. Pearson.

Секція 6. Інтелектуальні системи та машинне навчання

Section 6. Intelligent Systems and Machine Learning

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КРИМІНОЛОГІЇ

Бондар Вікторія Володимирівна
здобувачка вищої освіти на бакалаврському рівні юридичного факультету Хмельницького університету управління та права імені Леоніда Юзькова, viktoriabondar823@gmail.com

POSSIBLE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CRIMINOLOGY

Viktoria Volodymyrivna Bondar
Undergraduate student at the Faculty of Law of the Leonid Yuzkov Khmelnytskyi University of Management and Law, viktoriabondar823@gmail.com

This article examines the application of artificial intelligence in criminology, in particular its ability to process large datasets, identify patterns of criminal behaviour, and support decision-making by law enforcement agencies. Predictive analytics, criminal profiling and real-time monitoring systems are examined, along with ethical and legal challenges. The need for the transparent and lawful implementation of AI technologies is emphasised.

Keywords: artificial intelligence, criminology, predictive analytics, law enforcement agencies, data analysis, human rights

У сучасних умовах стрімкої цифровізації суспільства штучний інтелект дедалі активніше використовується у різних сферах діяльності, тому кримінологія не виключення. Завдяки здатності обробляти значні обсяги даних та виявляти приховані закономірності він стає важливим аналітичним інструментом для дослідження кримінологічних процесів і підтримки діяльності правоохоронних органів в боротьбі зі злочинністю.

Насамперед штучний інтелект відкриває широкі можливості для обробки великих обсягів інформації з різноманітних джерел, зокрема баз даних правоохоронних органів, розвідки з відкритих джерел – OSINT, систем відеоспостереження, соціальних мереж, банківських інформаційних систем та телекомунікаційних платформ тощо [1, с. 523].

Алгоритми машинного навчання, опрацьовуючи ці масиви даних, дають змогу ефективніше виявляти закономірності у поведінці правопорушників, моделювати злочинну активність в певному регіоні, розробляти кримінальні профілі, оцінювати ризики рецидиву та виявляти аномалії, які можуть свідчити про приховані злочинні дії. Крім того, штучний інтелект здатний аналізувати мовлення, письмові тексти, відео- та аудіоматеріали, що значно підвищує ефективність розслідувань. Так, у деяких країнах уже реалізовано системи, які прогнозують ймовірність скоєння правопорушень на основі аналізу поведінкових патернів – прикладом є програмне забезпечення PredPol у США або системи прогнозного поліціювання в Великобританії та Нідерландах [1, с. 523].

Іншим важливим аспектом застосування штучного інтелекту в боротьбі зі злочинністю є його здатність забезпечувати більш об’єктивний аналіз даних і ухвалювати раціональні рішення, оскільки він позбавлений емоцій, упереджень чи матеріальної зацікавленості, що притаманно людській психіці. Саме це і робить його потенційно більш справедливим та неупередженим арбітром.

На основі цього сьогодні подібні програми вже запроваджені на практиці. Наприклад, у Великобританії діє програма Harm Assessment Risk Tool, яка використовує алгоритми штучного інтелекту для оцінки ризиків та допомагає здійснювати вибір між триманням затриманої особи під вартою або застосуванням альтернативного більш м’якого запобіжного заходу. Результати тестування показали, що цей алгоритм у 98 % випадках правильно визначає, що затриманий не становить загрози, і достовірно ідентифікує осіб із групи ризику у 88 % випадках [2, с. 57-58].

Водночас варто наголосити і на вітчизняному досвіді застосування штучного інтелекту у кримінології. Насамперед йдеться про спільне наукове дослідження кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки та Головного управління Національної поліції в Харківській області.

Дослідження було зосереджене на застосуванні методів data mining, які базуються на сучасних технологіях обчислювального

інтелекту й інтелектуальних інформаційних технологіях для потреб правоохоронної діяльності. Результатом цієї співпраці стало розроблення інформаційно-аналітичного комплексу «RICAS – Realtime Intelligence Crime Analytics System» – інноваційної системи кримінального аналізу, яка інтегрує передові технології аналітичного пошуку та обробки даних у режимі реального часу [2, с. 56-57].

Ця система здатна забезпечити виконання різних видів кримінального аналізу, таких як аналіз криміногенної ситуації, загальних профілів, конкретних розслідувань, порівняльний аналіз, вивчення групової злочинності та характеристик профілів і розслідувань. Основною її метою є підвищення результативності використання інформаційних ресурсів у сфері оперативно-розшукової діяльності, досудових розслідувань та управління громадським порядком. Також система допомагає скоротити час реагування на повідомлення про кримінальні правопорушення, значно покращує можливості їх розкриття в режимі реального часу, виконує превентивну функцію і сприяє вдосконаленню процесів ухвалення управлінських рішень. Втім, попри очевидні переваги, на даний момент система ще не здобула широкого й ефективного впровадження в практичну діяльність [2, с. 57].

Водночас із можливостями, які надає штучний інтелект, варто зазначити за його недоліки. Перш за все йдеться про порушення низки юридичних, психологічних та етичних питань. Так, однією з головних загроз, пов'язаних із застосуванням таких технологій є ризик порушення прав людини, особливо в контексті захисту конфіденційності персональних даних і втручання у приватне життя. Саме тому правозахисники висловлюють стурбованість тим, що використання штучного інтелекту у правовій сфері може негативно вплинути на фундаментальні права і свободи людини.

Відповідно, використання штучного інтелекту в сфері правосуддя й діяльності правоохоронних органів може бути прийнятним лише за умови суворого дотримання принципів верховенства права, поваги до людської гідності, рівності перед законом, пропорційності, змагальності сторін, прозорості, неупередженості та справедливості [3, с. 87-88]. Також варто наголосити і на необхідності впровадження дієвих запобіжних

механізмів для захисту прав та свобод людини, а також забезпечення можливості оскаржувати рішення, ухвалені алгоритмами [2, с. 58].

Таким чином, використання технологій штучного інтелекту в кримінології відкриває нові перспективи для підвищення ефективності боротьби зі злочинністю та оптимізації роботи правоохоронних органів. Завдяки можливості обробляти великі обсяги даних із різних джерел, аналізувати кримінологічну інформацію та ідентифікувати закономірності злочинної поведінки, системи штучного інтелекту здатні точніше прогнозувати ймовірність злочинних посягань, своєчасно виявляти потенційні правопорушення і підвищувати результативність розслідувань. Водночас впровадження таких технологій має супроводжуватися належним правовим регулюванням, прозорістю алгоритмів і дотриманням основних прав та свобод людини.

Список використаних джерел:

1. Олексієнко, Д., Нікішенко, Д., Іващук, Р. і Кисельов, А. 2025. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В КРИМІНАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ. *UNIVERSUM. 21* (Чер 2025), 521–526. URL: https://ppdnz.com.ua/index.php/home/article/view/282/191

2: Заворіна О. П., Нечаєва І. О. ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОВАДЖЕННІ. *Матеріали міжвідомчого науково-практичного круглого столу (Київ, 25 лют.)* 2021. С.55-58 URL: https://elar.navs.edu.ua/server/api/core/bitstreams/64d419cb-d9e1-43a6-a58a-0c6ecb60f094/content

3: Шевчук В. Перспективні напрями використання технологій штучного інтелекту в розслідуванні кримінальних правопорушень. І*нноваційні методи та цифрові технології в криміналістиці й судовій експертизі: монографія / В.Ю. Шепітько, Г.К. Авдєєва, В.М. Шевчук та ін.* Харків: Право, 2024. С. 83–106 URL: https://ivpz.kh.ua/wp-content/uploads/2025/01/Монографія-Криміналістів-2024.pdf

ЗАСТОСУВАННЯ ШІ У ВИЯВЛЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Браїловський Володимир Васильович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, v.brailovskyi@chnu.edu.ua
Галюк Сергій Дмитрович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, доцент, s.haliuk@chnu.edu.ua
Денисюк Андрій Вадимович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, магістр, кафедра радіотехніки так інформаційної безпеки, denysiuk.andrii@chnu.edu.ua
Рождественська Маргарита Григорівна
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua

APPLICATIONS OF AI IN DANGEROUS OBJECT DETECTION

Brailovskyi Volodymyr
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, associate professor at the Department of Radio Engineering and Information Security, v.brailovskyi@chnu.edu.ua
Haliuk Serhiy
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, associate professor, s.haliuk@chnu.edu.ua
Denysiuk Andrii
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, master's student at the Department of Radioengineering and Information Security, denysiuk.andrii@chnu.edu.ua
Rozhdestvenska Marharyta
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, associate professor at the Department of Radio Engineering and Information Security, m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua

The paper examines the use of artificial intelligence for improving humanitarian demining through image analysis. It shows that computer vision and object detection methods enable reliable identification of dangerous objects while reducing risks for personnel. The impact of terrain complexity and lighting conditions on recognition accuracy is considered. The role of image preprocessing and diverse training data in increasing detection reliability is highlighted. This approach is particularly valuable in scenarios where both safety and operational efficiency are critical.

Keywords: artificial intelligence, computer vision, object detection, humanitarian demining, hexacopter

У довоєнні роки безпілотні літальні апарати (БПЛА) не становили такої потенційної загрози, як нині. Війна породила і проблему розмінування території України, забрудненої небезпечними предметами. Традиційні методи пошуку таких об’єктів саперами та наземними роботами низькопродуктивні, потенційно небезпечні [1]. Вищу ефективність забезпечують БПЛА у поєднанні з системами комп’ютерного зору. Для аналізу зображень переважно використовують згорткові нейронні мережі, які дозволяють класифікувати об'єкти за їх візуальними ознаками. Відомий алгоритм YOLO (You Only Look Once) у режимі реального часу визначає об'єкт на зображенні та розраховує коефіцієнт достовірності (confidence score) [2].

З метою забезпечення високої якості зображення був розроблений і виготовлений БПЛА вертолітного типу з шістьма двигунами (гексакоптер), розміщеними по колу радіусом 1.1 м. Вказані фактори забезпечили підвищену стабільність положення БПЛА, що покращило якість зображення.

Для набуття практичного досвіду застосування ШІ у розв’язанні поставленої задачі було вирішено здійснити розпізнавання розробленого гексакоптера як одного з різновидів БПЛА. Для ефективного виявлення БПЛА за різних умов необхідно забезпечити різноманітність даних, що охоплюють зображення з різних ракурсів, за різного освітлення та в різних погодних умовах. У цьому дослідженні було зібрано близько

20 тисяч зображень БПЛА [3].

Отримані зображення необхідно підготувати [4] для навчання системи штучного інтелекту, що передбачає їх розмітку. Для цього застосовувалася програма YoloLabel, яка спрощує процес виділення об'єктів на фото та формування текстових файлів із класами й координатами. З огляду на значний обсяг даних було використано принцип самонавчання, що забезпечив швидку обробку зображень. Далі застосовувався скрипт, який на основі попередньо навченої моделі автоматично обробляв більші масиви зображень. Такий підхід дозволив мінімізувати рутинну роботу з розмітки та підвищити ефективність самонавчання системи штучного інтелекту.

На рис. 1 зображено гексакоптер на неоднорідному фоні.

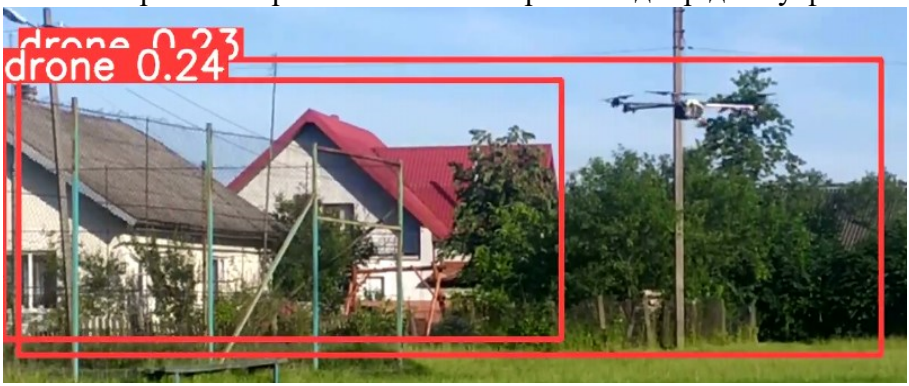


Рисунок 1. Фрагмент зображення ідентифікації гексакоптера

На рис. 2 представлено розпізнавання БПЛА нейронною мережею YOLO в умовах з переважно однорідним фоном.

Порівняння наведених прикладів показує, що за умов однорідного фону значення коефіцієнта довіри є вищим, тоді як на складному фоні з великою кількістю сторонніх елементів у кадрі цей показник зменшується.

Складний фон місцевості, рослинність і погодні умови ускладнюють виявлення небезпечних предметів на поверхні землі. Тому кількість зображень повинна нараховувати десятки тисяч.

Рисунок 2. Приклад розпізнавання БПЛА нейронною мережею YOLO

На даний момент зібрано практично 24 тисячі зображень. Враховуючи великий різновид небезпечних предметів, для забезпечення достовірності виявлення на рівні 50% кількість зображень повинна бути значно більшою.

Список використаних джерел

1. Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case.
URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11015405/

2. YOLO: Algorithm for Object Detection Explained [+Examples]: URL: https://www.v7labs.com/blog/yolo-object-detection

3. Фіцак Б.В. Оптичний контролер оточення. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня магістр. Чернівці – 2023. 96 с.

4. Exploring image processing, computer vision, and machine vision. URL: https://www.ultralytics.com/blog/exploring-image-processing-computer-vision-and-machine-vision

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ АГРАРНИХ РІШЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ LLM НА ОСНОВІ GRPO ТА COT

Візнюк Артем Валентинович
НТУ «Дніпровська політехніка», магістр, аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, vizniuk.art.v@nmu.one
Лактіонов Іван Сергійович
НТУ «Дніпровська політехніка», доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, laktionov.i.s@nmu.one

IMPROVING THE TRUSTWORTHINESS OF SYSTEMS FOR SUPPORTING AGRICULTURAL DECISION-MAKING USING LLMS BASED ON GRPO AND COT

Artem Vizniuk
Dnipro University of Technology, Master, PhD student of the Department of Software of Computer Systems, vizniuk.art.v@nmu.one
Ivan Laktionov
Dnipro University of Technology, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Software of Computer Systems, laktionov.i.s@nmu.one

The application of large language models (LLMs) in decision support systems (DSS) in agriculture enables agronomists to analyze data and obtain recommendations for crop cultivation. One of the main problems is "hallucinations" – the generation of plausible but incorrect answers, which can lead to significant economic losses. An approach based on the GRPO algorithm, with a reward function that accounts for completeness (defined as claim-level recall) and penalizes incorrect citations, is proposed. This approach combines chain-of-thought (CoT) generation, hybrid search (semantic and BM25), and LLM-as-Judge result evaluation, improving the reliability of recommendations and reducing hallucinations.

Keywords: LLM, DSS, RL, GRPO, RAG, CoT.

Одним із ключових напрямів досліджень щодо вдосконалення агротехнічного моніторингу є використання великих мовних моделей (LLM) у системах підтримки прийняття рішень (DSS) [1]. Інтеграція LLM дозволяє агрономам взаємодіяти з DSS засобами природної мови, аналізувати агрокліматичні дані та отримувати рекомендації щодо вирощування агрокультур. Одним із обмежень застосування ШІ-асистентів на базі LLM є «галюцинації», які проявляються в генеруванні правдоподібних, але фактично некоректних відповідей. Одна із причин появи галюцинацій полягає в обмеженій або застарілій внутрішній базі знань LLM. У сільському господарстві такі помилки можуть призвести до неправильної діагностики хвороб рослин або невідповідних рекомендацій, що потенційно може спричинити економічні збитки чи шкоду навколишньому середовищу. Таким чином, підвищення достовірності прийняття агротехнічних рішень на основі LLM є актуальним напрямом досліджень [1].

Мета досліджень полягає у розробці підходу до навчання LLM на базі алгоритму GRPO для підвищення достовірності генерованих рекомендацій щодо вирощування агрокультур, що дозволить оптимізувати використання ресурсів у рослинництві.

Основний зміст роботи. Метод RAG (retrieval-augmented generation) поєднує інформаційний пошук та LLM для генерації відповідей на основі знайдених релевантних документів, що зменшує ризик галюцинацій [1]. Іншим підходом до зниження галюцинацій та підвищення точності результатів є метод CoT (Chain-of-thought), коли модель спочатку генерує «хід думок», а потім відповідь [2]. Останні дослідження методів навчання з підкріпленням для LLM, зокрема алгоритму GRPO (Group Relative Policy Optimization) від DeepSeek, продемонстрували ефективність цього методу у поєднанні з CoT для вдосконалення здібностей логічного мислення LLM [3].

Запропонований підхід передбачає використання алгоритму GRPO для навчання LLM формувати пошукові запити та ключові слова, а також генерувати рекомендації щодо вирощування агрокультур із посиланнями на першоджерела. Перед

формуванням відповіді модель спочатку генерує ланцюг пояснень CoT. На першому етапі, після отримання запиту від користувача, модель створює пошуковий запит та ключові слова. Далі здійснюється гібридний пошук із використанням семантичного та BM25 пошуку. Результати об'єднуються та ранжуються за методом RRF [4]. На третьому етапі агент генерує відповідь на основі найбільш релевантної інформації з відповідних документів. На четвертому етапі застосовується підхід LLM-as-Judge, коли інша LLM оцінює коректність відповіді.

Винагорода R_{total} для оцінки якості згенерованої відповіді обчислюється за формулою (1):

$$R_{total} = R_{correctness} - \alpha C_{incorrect} \quad (1)$$

$$R_{correctness} = (1 - \frac{missing_claims}{total_claims}), \quad (2)$$

де $R_{correctness}$ – метрика повноти або оцінка правильності відповіді; $total_claims$ – кількість тверджень у правильній відповіді; $missing_claims$ – кількість пропущений тверджень у згенерованій відповіді; $C_{incorrect}$ – кількість неправильних цитувань у відповіді; α – «штраф» за неправильні посилання (0,05 за замовчуванням).

Згідно з формулою (1), винагорода набуває значень у діапазоні від -$\alpha C_{incorrect}$ до 1 і є більш інформативною щодо ступеня правильності відповіді моделі порівняно з бінарною винагородою, що є перевагою для навчання з підкріпленням. Узагальнена схема навчання моделі відповідно до запропонованого підходу наведена на рис. 1.

Наукова новизна результатів досліджень полягає в тому, що одержав подальшого розвитку метод надання рекомендацій щодо вирощування агрокультур на основі LLM за рахунок застосування алгоритму GRPO та функції винагороди, що враховує ступінь покриття правильних тверджень та «штрафує» за некоректні посилання.

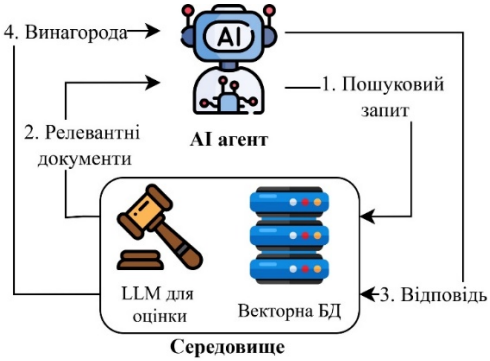


Рисунок 1. Схема взаємодії агента з програмним середовищем

Висновки. Обґрунтовано актуальність напрямку досліджень щодо підвищення достовірності агротехнічних рішень із використанням LLM. Запропоновано підхід на основі GRPO з функцією винагороди, що враховує повноту тверджень і штрафує за некоректні посилання, що зменшує галюцинації.

Тези підготовлено в рамках НДР «Програмно-алгоритмічні рішення інформаційно-аналітичних систем с/г призначення на основі ШІ в мінливих агрокліматичних умовах» (0126U001122).

Список використаних джерел

1. Vizniuk, A., et al. (2025). A comprehensive survey of retrieval-augmented large language models for decision making in agriculture: Unsolved problems and research opportunities. *JAISCR, 15*(2), 115–146. https://doi.org/10.2478/jaiscr-2025-0007

2. Wei, J., et al. (2022). *Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models*. arXiv, 1–43. https://arxiv.org/abs/2201.11903

3. Guo, D., et al. (2025). *DeepSeek-R1: Incentivizing reasoning capability in LLMs via reinforcement learning*. arXiv, 1–22. https://arxiv.org/abs/2501.12948

4. Cormack, G. V., Clarke, C. L. A., & Büttcher, S. (2009). *Reciprocal rank fusion outperforms Condorcet and individual rank learning methods*. In *Proc. of the 32nd Annual Int. ACM SIGIR Conf.*, 758–759. https://doi.org/10.1145/1571941.1572114

ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ АНОМАЛІЙ ЗА ОБМЕЖЕНИХ ДАНИХ

Воробець Ігор Володимирович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, аспірант, ihor_vorobets0809@tntu.edu.ua

COMPARISON OF APPROACHES FOR ACOUSTIC ANOMALY DETECTION UNDER DATA SCARCITY

Vorobets Ihor Volodymyrovych
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, PhD student, ihor_vorobets0809@tntu.edu.ua

The paper analyzes the problem of scarcity of anomalous data in acoustic anomaly detection tasks. Modern machine learning approaches for addressing this problem are considered. A comparative analysis of the approaches is conducted. Their complementarity and the dependence of their selection on task conditions are demonstrated.

Keywords: acoustic monitoring, anomaly detection, data scarcity, machine learning, transfer learning, self-supervised learning, few-shot learning, one-class classification.

Для виявлення аномалій у системах акустичного моніторингу активно застосовуються методи та моделі машинного навчання, ефективність яких значною мірою залежить від наявності достатнього обсягу навчальних даних, зокрема прикладів аномалій. У більшості прикладних задач аномальні сигнали трапляються рідко, а їх збір і розмітка потребують значних витрат. Це призводить до суттєвого дисбалансу класів, що ускладнює навчання моделей і знижує їх здатність до узагальнення [1, 2].

У зв’язку з цим зростає актуальність підходів, ефективних в умовах обмеженої кількості прикладів аномалій. Метою дослідження є огляд та порівняльний аналіз сучасних підходів машинного навчання для виявлення аномальних акустичних сигналів за умов дефіциту навчальних даних.

У роботі розглянуто чотири групи підходів:

– підходи передавального навчання (англ. transfer learning, TL) — ґрунтуються на використанні моделей, попередньо навчених на великих наборах даних, з подальшою адаптацією до цільової задачі шляхом донавчання [3];

– підходи самокерованого навчання (англ. self-supervised learning, SSL) — дозволяють навчати моделі без використання розмічених даних шляхом формування представлень даних через допоміжні задачі [2];

– підходи навчання з малою кількістю прикладів (англ. few-shot learning, FSL) — орієнтовані на навчання моделей за дуже малої кількості прикладів аномалій; часто використовують методи метричного навчання (англ. metric learning), які дозволяють оцінювати схожість між даними у просторі ознак [4];

– підходи однокласової класифікації (англ. one-class classification, OCC) — передбачають навчання моделей лише на нормальних даних, а аномалії визначаються як відхилення від їхнього розподілу [5].

Для порівняльного аналізу цих підходів обрано критерії, що відображають ключові аспекти їх роботи за умов дефіциту аномальних даних: здатність до узагальнення, потреба в аномальних даних та обчислювальна складність. Порівняльна характеристика розглянутих підходів подана у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння підходів машинного навчання

Підхід	Здатність до узагальнення	Потреба в аномальних даних	Обчислювальна складність
Transfer learning	Висока	Низька	Помірна–висока
Self-supervised learning	Висока	Дуже низька	Висока
Few-shot learning	Середня–висока	Дуже низька	Помірна–висока
One-class classification	Обмежена	Відсутня	Низька–висока

Проведений аналіз показує, що розглянуті підходи мають різні переваги та обмеження. Підходи TL і SSL забезпечують високу здатність до узагальнення, однак характеризуються підвищеними обчислювальними витратами. Підходи FSL є ефективними за низької кількості аномальних прикладів, проте їх здатність до узагальнення значною мірою залежить від якості простору ознак. Методи OCC не потребують аномальних даних для навчання, однак демонструють обмежену здатність до узагальнення при зміні розподілу даних.

Таким чином, отримані результати можуть бути використані для вибору ефективних підходів машинного навчання для виявлення акустичних аномалій та подальших досліджень у сфері інтелектуального моніторингу.

Список використаних джерел

1. Improving anomalous sound detection through pseudo-anomalous set selection and pseudo-label utilization under unlabeled conditions / I. Kuroyanagi et al. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. 2025. Vol. 14, no. 1. URL: https://doi.org/10.1561/116.20250017.

2. Liao J., Yang F., Lu X. An enhanced contrastive ensemble learning method for anomaly sound detection. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 3. P. 1624. URL: https://doi.org/10.3390/app15031624.

3. Wilkinghoff K., Fritz F. On using pre-trained embeddings for detecting anomalous sounds with limited training data. 2023 *31st European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Helsinki, Finland, 4–8 September 2023. 2023. URL: https://doi.org/10.23919/eusipco58844.2023.10290003.

4. Few-shot detection of anomalies in industrial cyber-physical system via prototypical network and contrastive learning / H. Sun et al. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2302.10601.

5. One-class anomaly detection for industrial applications: a comparative survey and experimental study / D. Paolini et al. *Computers*. 2025. Vol. 14, no. 7. P. 281. URL: https://doi.org/10.3390/computers14070281.

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПОКАЗНИКІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Головня Сергій Анатолійович
Луцький національний технічний університет, аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення,
serhii.holovnia96@gmail.com

ANALYSIS OF ARCHITECTURAL SOLUTIONS FOR REAL-TIME ADAPTIVE FORECASTING SYSTEMS OF PRODUCTION INDICATORS

Holovnia Serhii Anatoliyovych
Lutsk National Technical University, PhD student at the Department of Software Engineering,
serhii.holovnia96@gmail.com

The paper analyzes software architectures for adaptive forecasting in industrial systems. It focuses on transitioning to event-driven paradigms using the Kappa architecture and Apache Flink. The study details the integration of AutoML components for real-time model retraining under exogenous shocks. The proposed decoupled structure of inference and training pipelines ensures system resilience and minimizes data latency, providing stable performance during structural shifts in time series.

Keywords: software architecture, stream processing, adaptive forecasting, AutoML, industrial data, Apache Flink, event-driven systems.

Сучасна інженерія програмного забезпечення для промислового сектору стикається з викликом обробки високоінтенсивних потоків даних, що характеризуються нестаціонарністю та раптовими структурними змінами. Традиційні монолітні архітектури, орієнтовані на пакетну обробку, демонструють критичну затримку при спробі адаптувати

прогнозні моделі до динамічних екзогенних факторів. Дослідження 2024 року вказують на те, що латентність у прийнятті рішень на основі застарілих даних призводить до зростання операційних витрат на 12–15% у ланцюгах постачання з високим ступенем автоматизації [1]. Виникає потреба у переході до подієво-орієнтованих архітектур (Event-Driven Architecture), де кожен елемент вхідного потоку ініціює миттєву реакцію системи.

Ключовим компонентом таких систем стає рівень потокової аналітики (Stream Processing Layer), реалізований на базі Kappa-архітектури. На відміну від Lambda-архітектури, цей підхід виключає необхідність паралельної підтримки пакетного шару, що спрощує синхронізацію станів моделей [2]. Використання розподілених систем реєстрації повідомлень дозволяє інтегрувати гетерогенні джерела даних - від сенсорів IoT до зовнішніх API моніторингу ринку - у єдиний аналітичний контур. Проектування архітектури з низьким рівнем зв'язності (loose coupling) забезпечує незалежне масштабування модулів збору даних та блоків інкрементального навчання нейромереж.

Реалізація систем адаптивного прогнозування вимагає інтеграції рівнів обробки даних з компонентами автоматизованого машинного навчання (AutoML). У сучасних архітектурних рішеннях 2024–2026 рр. рівень моделювання перестає бути статичним об'єктом і трансформується у динамічний сервіс. Використання фреймворків потокової обробки, зокрема Apache Flink, дозволяє впроваджувати онлайн-валідацію моделей без зупинки основного аналітичного конвеєра. Це забезпечує можливість паралельного тестування декількох конфігурацій алгоритмів у режимі "A/B - тестування на потоці", де вибір робочої моделі відбувається автоматично на основі мінімізації поточної похибки апроксимації. Важливим аспектом архітектури є блок ідентифікації дрейфу концепції (Concept Drift Detection). Ефективним підходом є також моніторинг статистичних характеристик розподілу залишків прогнозу: якщо відхилення перевищує встановлений поріг, система ініціює

інкрементальне донавчання [3]. На практиці це означає розробку модульних конвеєрів, де компоненти навчання (Training Pipeline) та виконання (Inference Pipeline) розділені асинхронними чергами повідомлень. Такий підхід гарантує стійкість системи до пікових навантажень та дозволяє використовувати методи “м'якої деградації” (graceful degradation), коли при обмеженні обчислювальних ресурсів система тимчасово переходить на менш складні ансамблеві моделі.

Особливістю проектування адаптивних систем є вибір між стратегіями повного перенавчання моделі та інкрементального оновлення її параметрів. Аналіз архітектурних рішень для систем обробки потоків даних свідчить, що для мінімізації затримок найбільш ефективною є реалізація подієво-орієнтованих додатків (event-driven applications), які забезпечують локальне керування станом обчислень [2, с. 41–42]. Такий підхід дозволяє відокремити інтенсивні аналітичні операції від основного контуру обробки подій, запобігаючи блокуванню потоку прогнозування під час виконання обчислювально затратних процедур оновлення моделі.

Зокрема, важливим аспектом проектування адаптивних систем є інтеграція механізмів виявлення дрейфу концепції (concept drift), які базуються на моніторингу помилок моделі в реальному часі [4, с. 9-11]. Використання підходів активної адаптації дозволяє системі ініціювати перенавчання лише за умови фіксації статистично значущих змін у розподілі даних, що запобігає деградації прогнозних моделей при раптових зовнішніх збуреннях [4, с. 11-12]. Для забезпечення стабільної роботи прогнозних вузлів у промислових масштабах доцільно використовувати технології контейнеризації (Docker/Kubernetes), що дозволяють динамічно масштабувати обчислювальні ресурси (GPU/TPU) відповідно до інтенсивності виявлених аномалій.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що перехід до подієво-орієнтованих архітектур з використанням інструментів Apache Flink та AutoML є необхідною умовою для створення

стійких систем прогнозування. Запропонований розподіл контурів навчання та виконання дозволяє досягти цільових показників доступності системи (High Availability) та забезпечити адаптацію моделей до непередбачуваних зовнішніх впливів без деградації продуктивності програмного забезпечення [5].

Список використаних джерел

1. Supply chain data analytics for predicting supplier disruptions: A case study in complex asset manufacturing. *International Journal of Production Research*. 2024. Vol. 62, no. 8. P. 2845–2862.

2. Hueske F., Kalavri V. *Stream Processing with Apache Flink: Fundamentals, Implementation, and Operation of Streaming Applications*. O'Reilly Media, 2019. 314 p.

3. Mezati M., Aouria I. Flink-ML: machine learning in Apache Flink. *Brazilian Journal of Technology*. 2024. Vol. 7, no. 4. P. 1–18.

4. Federated Learning Under Concept Drift: A Systematic Survey of Foundations, Innovations, and Future Research Directions. *MDPI Electronics*. 2025. Vol. 14, no. 22. Art. 4480. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/14/22/4480.

5. Головня С. А. Метод сегментованого прогнозування виробничих показників підприємств із використанням гібридної моделі машинного навчання. *Наука і техніка сьогодні*. 2026. № 2(56). С. 1678–1691.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПОДІЛУ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ НА ОСНОВІ MILP-МОДЕЛІ

Горобець Олександр Миколайович
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра програмних систем і технологій, студент 1-го курсу магістратури, olexandrhorobets@knu.ua

INTELLIGENT HUMANITARIAN AID DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON A MILP MODEL

Horobets Oleksandr Mykolayovych
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Department of Software Systems and Technologies, 1st year master's student, olexandrhorobets@knu.ua

A multi-period multi-commodity MILP model for humanitarian resource distribution is developed. The objective minimizes a weighted sum of transport costs, deprivation penalty, and inter-zone inequality. Validated on Turkey 2023 earthquake data, the system produces optimal plans in under one second and supports Monte Carlo robustness analysis.

Keywords: humanitarian logistics, MILP, multi-objective optimization, deprivation cost, disaster response, Monte Carlo analysis.

Гуманітарні катастрофи – стихійні лиха, збройні конфлікти, техногенні аварії – призводять до масштабних руйнувань інфраструктури та потреби у терміновому забезпеченні постраждалого населення базовими ресурсами. Ефективний розподіл обмежених ресурсів в умовах зруйнованих доріг, невизначеного попиту та конкуруючих гуманітарних цілей є одним із ключових завдань логістики надзвичайних ситуацій [1].

У роботі розроблено багатоперіодну багатопродуктову модель розподілу ресурсів на основі змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP). Модель охоплює горизонт планування T діб і розрізняє два типи ресурсів: споживані (вода,

продовольство – щодобова потреба) та неспоживані (намети, медичні комплекти – разова поставка). Цілочисельні змінні використовуються для штучних ресурсів, неперервні – для об'ємних [2].

Цільова функція мінімізує зважену суму трьох нормалізованих критеріїв: транспортних витрат F_{eff} (відстань × маса/доступність зони), штрафу за недопоставку F_{dep}, що зростає квадратично з часом затримки, та нерівності між зонами F_{eq} (різниця між максимальним і мінімальним зваженим покриттям). Ваги λ_1, λ_2, λ_3 задаються користувачем, що реалізує multi-objective підхід із налаштовуваним пріоритетом [3].

Основні обмеження моделі: запаси складів не перевищуються; добова пропускна здатність обмежена за масою вантажу; баланс попиту враховує недопоставку як явну змінну; доступність зони $a[j] \in (0,1]$ коригує вартість доставки, моделюючи пошкоджені дороги. Реалізацію виконано мовою Python 3.11 із використанням бібліотеки PuLP та солвера CBC; відстані обчислюються за формулою Haversine та уточнюються через OSRM API [2].

Для оцінки стійкості рішень застосовано метод Монте-Карло (100-200 прогонів) із варіацією попиту ±20% та доступності зон ±10%, що генерує довірчі інтервали [5%; 95%] для ключових метрик. Модель верифіковано на трьох сценаріях: двох синтетичних (Львівська область і Карпатська повінь) та реальному кейсі землетрусу в Туреччині 6 лютого 2023 р. з використанням офіційних даних логістичних хабів AFAD і бюлетенів Reliefweb [4], [5].

Отримані результати свідчать про практичну ефективність підходу: система знаходить оптимальний план менш ніж за 1 секунду для сценаріїв до 50 складів і зон. Порівняння трьох стратегій на Карпатському сценарії показало, що стратегія «справедливість» ($\lambda_3 = 10$) забезпечує Gini = 0 і рівне покриття всіх зон, проте потребує на 41% більше транспортних витрат і затримує першу поставку на 1,6 доби порівняно зі стратегією «мінімізація депривації» [3].

Валідація на даних Turkey 2023 підтвердила адекватність

моделі: розрахований рівень покриття 9,7% відповідає реально задокументованим обсягам постачань AFAD за перші вісім діб операції (~4,5 млн л води при потребі ~45 млн л). Аналіз Монте-Карло для Карпатського сценарію показав довірчий інтервал покриття [57,3%; 69,4%] при варіації попиту ±20%, що свідчить про стійкість плану [4].

Ключовий висновок роботи: жодна зі стратегій не є домінуючою за всіма трьома критеріями одночасно, що обґрунтовує необхідність multi-objective підходу з налаштовуваними вагами залежно від фази операції та пріоритетів особи, яка приймає рішення. Подальший розвиток передбачає інтеграцію прогнозування попиту на основі машинного навчання та розширення на сценарії з динамічним поповненням складів.

Список використаних джерел

1. Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. International Journal of Logistics, 11(2), 101–121. https://doi.org/10.1080/13675560701561789

2. Mitchell, S., OSullivan, M., & Dunning, I. (2011). PuLP: A Linear Programming Toolkit for Python. The University of Auckland. http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2011/09/3178.html

3. Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. Transportation Research Part E, 43(6), 673–686. https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.10.012

4. AFAD. (2023). Deprem Bultenleri (Earthquake Bulletins No. 1–36). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. https://www.reliefweb.int

5. Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. Journal of the Operational Research Society, 55(1), 43–53. https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-СЕРВІСІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКИХ ФРАЗЕОЛОГІЗМІВ ТА ІДІОМ

Дмитерко Каріна Сергіївна
здобувач освіти 3 курсу
факультету іноземної філології ВНУ імені Лесі Українки
mtsm44002@gmail.com
Линник Юрій Миколайович
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри прикладної лінгвістики ВНУ імені Лесі Українки

FEATURES OF USING WEB SERVICES IN THE PROCESS OF LEARNING ENGLISH PHRASEOLOGY AND IDIOMS

Karina Serhiivna Dmyterko
3-rd year student
Faculty of Foreign Philology of Lesya Ukrainka Volyn National University
mtsm44002@gmail.com
Yurii Mykolaiovych Lynnyk
Candidate of Pedagogical Sciences, Department of Applied Linguistics, Lesia Ukrainka Volyn National University

This study examines the use of web services in learning English phraseology and idioms. It highlights their role in developing communicative competence and challenges of mastering them. The paper outlines communicative, lexical, and cognitive approaches, and emphasizes the role of digital tools such as online platforms, dictionaries, and apps. The work shows that web platforms improve comprehension through authentic content and adaptive learning, making the acquisition of idiomatic expressions more effective.

Keywords: phraseology, idioms, web services, digital learning, lexical approach, communicative approach, cognitive approach.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифровізації освіти та стрімкого розвитку інформаційних технологій зростає потреба у впровадженні інноваційних методів навчання іноземних мов. Важливим компонентом мовної компетентності є знання фразеологізмів та ідіом, які забезпечують природність і виразність мовлення. Водночас процес їх засвоєння є складним через семантичну непрозорість, культурну специфіку та обмежену варіативність. Традиційні методи навчання не завжди виявляються достатньо ефективними, що зумовлює доцільність використання сучасних веб-сервісів як інструменту підвищення якості лінгвістичної підготовки.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та практичне дослідження особливостей використання веб-сервісів у процесі вивчення англійських фразеологізмів та ідіом.

Результати дослідження. Згідно з дефініцією П. О. Леканта, фразеологізм (фразеологічна одиниця) є складною міждисциплінарною одиницею, у формі і значенні якої взаємодіють елементи різних мовних рівнів [3]. Ідіоми — як різновид фразеологізмів — розглядаються як соціокультурні явища, що відображають психологічні особливості поведінки та етнічні норми спілкування певної лінгвокультурної спільноти [1].

Сучасні підходи до навчання лексики орієнтовані на використання мови у реальних комунікативних ситуаціях:

– *Комунікативний підхід* передбачає засвоєння ідіом безпосередньо у мовленнєвій діяльності.

– *Лексичний підхід* акцентує увагу на вивченні фразеологізмів як цілісних, нерозкладних блоків (lexical chunks) [4].

– *Когнітивний підхід* ґрунтується на формуванні стійких асоціативних зв’язків.

Багатоаспектно проблему вивчення фразеології досліджували Н. М. Шанський, О. В. Кунін, В. В. Виноградов, Л. П. Сміт та інші [2; 5]. Проте в умовах сьогодення особливу увагу

варто приділити аналітичним можливостям веб-сервісів. Сучасні платформи (наприклад, *Quizlet, Canvas, Google Classroom*) оснащені інструментами збору даних, що дозволяють відстежувати прогрес, виявляти типові помилки та адаптувати контент до індивідуальних потреб здобувачів освіти.

Щодо веб-сервісів, то вони забезпечують інтерактивність, наочність і доступність матеріалу. Використання таких ресурсів, як *YouGlish* або *TED Talks*, дозволяє інтегрувати автентичні відеоматеріали, де ідіоми вживаються носіями мови у реальному контексті. Це сприяє візуалізації контенту та кращому розумінню конотативного значення виразів.

До найбільш ефективних інструментів належать:

– *Платформи з елементами гейміфікації* (*Kahoot!, Wordwall*), які підвищують мотивацію через ігрову форму та змагальний аспект.

– *Інтерактивні словники та корпуси мови* (*Cambridge Dictionary, British National Corpus*) – допомагають проаналізувати сполучуваність фразеологізмів.

– *Мобільні додатки (Memrise, Duolingo)* – реалізують принцип інтервальних повторень для міцного запам'ятовування.

Важливою перевагою веб-сервісів є реалізація принципу *адаптивного навчання*, коли складність вправ автоматично підлаштовується під рівень знань користувача. Це дозволяє уникнути когнітивного перевантаження та забезпечує поступове засвоєння складних фразеологічних одиниць.

Висновки. Використання веб-сервісів у процесі вивчення англійських фразеологізмів та ідіом є ефективним засобом інтенсифікації навчання. Вони забезпечують індивідуалізацію освітньої траєкторії, доступ до автентичних джерел та високий рівень мотивації. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці авторських методик інтеграції специфічних цифрових інструментів у класичні навчальні програми з англійської мови.

Список використаних джерел

1. Bobrovnyk S. M. Etymology of English Idioms. *Вісник НТУУ «КПІ». Філологія. Педагогіка*. Київ, 2015. Вип. 6 С. 1-11. URL: https://kamts1.kpi.ua/sites/default/files/files/bobrovnyk_etymology.pdf (дата звернення: 20.04.2026).

2. Камінська В. С. Теоретичні дослідження фразеологічних одиниць у сучасній лінгвістиці. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова*. 2011. С. 122–128.

3. Кравцова І. І. Фразеологізми в сучасній англійській мові: визначення, підходи, класифікації. *Вісник філології*. Одеса, 2020. Вип. 20, ч. 2. С. 29-32 URL: https://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v20/part_2/10.pdf (дата звернення: 20.04.2026).

4. Лексичний підхід (Lexical Approach). URL: https://www.scribd.com/document/802750863/лексичний-підхід-Lexical-Approach (дата звернення: 20.04.2026).

5. Сокальська Ю. О. Методичні прийоми для вивчення ідіом англійської мови. *Young Scientist*. 2019. № 1 (65). С. 115–118. URL: http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2019/1/27.pdf (дата звернення: 20.04.2026).

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ТА ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Єсипчук Андрій Євгенович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, yesypchuk.andrii@chnu.edu.ua
Д'яченко Лілія Іванівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, l.dyachenko@chnu.edu.ua

INTEGRATED AUGMENTED REALITY AND DEEP LEARNING SYSTEM FOR VISUALISATION OF MULTI-CHANNEL IMAGE CLASSIFICATION RESULTS

Andrii Yesypchuk
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student, Department of Computer Systems Software, yesypchuk.andrii@chnu.edu.ua
Liliia Diachenko
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Systems, l.dyachenko@chnu.edu.ua

The paper presents a conceptual framework for an integrated decision-support system that couples a hybrid spectral–spatial deep learning classifier with augmented reality for in-situ visualisation of multi-channel image classification results. The system is positioned as an aid to expert decision-making rather than an autonomous solution.

Keywords: augmented reality, deep learning, multi-channel image classification, hyperspectral imaging, attention mechanism, statistical significance testing.

Розвиток сенсорних технологій збору багатоканальних зображень – гіперспектральних, мультиспектральних, медичних томографічних – істотно випереджає темпи створення засобів коректної інтерпретації результатів їх аналізу. Класифікаційні

моделі видають карти прогнозів, які складно зіставити з реальним об'єктом спостереження поза екраном робочої станції, що породжує потребу в інструментах, які поєднують високоточну спектрально-просторову класифікацію з просторово-узгодженою візуалізацією її результатів у полі зору оператора.

Метою дослідження є розроблення інтегрованої системи доповненої реальності та глибокого навчання для візуалізації результатів класифікації багатоканальних зображень як інструменту підтримки прийняття рішень. Об'єктом є процес інтерпретації результатів класифікації за участю людини-оператора; предметом – методи інтеграції гібридних спектрально-просторових архітектур з технологіями AR-візуалізації. Концептуально система позиціонується як засіб підтримки прийняття рішень, а не як автономне рішення: остаточна валідація прогнозу залишається за експертом, що є визначальним для прикладних доменів з високою ціною помилки [1].

В основу класифікаційного ядра покладено клас гібридних 3D-згорткових архітектур з механізмом уваги, представником якого обрано модель A²S²K-ResNet [2]. Емпіричне обґрунтування вибору виконано шляхом статистичного порівняння чотирьох моделей різних парадигм (SVM з RBF-ядром, Random Forest, 2D-CNN, A²S²K-ResNet) на еталонному гіперспектральному наборі Pavia University (40 639 тестових пікселів, 9 класів). Застосовано непараметричну bootstrap-процедуру побудови 95 %-вих довірчих інтервалів (B = 1000), парне порівняння – за z-тестом на пропорції з поправкою Бонферроні (m = 6, $\alpha' \approx 0.00833$) та порогом змістовної значущості $\Delta OA \geq 2$ п.п.

Таблиця 1. Точкові оцінки та 95 %-ві bootstrap-довірчі інтервали Overall Accuracy

Модель	OA, %	95 % CI	ΔOA vs A²S²K, п.п.
SVM (RBF)	90.35	[90.08; 90.65]	−9.42
Random Forest	89.85	[89.56; 90.13]	−9.92
2D-CNN	96.20	[96.02; 96.38]	−3.56
A²S²K-ResNet	**99.77**	**[99.72; 99.81]**	–

Приріст точності A²S²K-ResNet порівняно з 2D-CNN (+3.56 п.п., z = 36.17, $p \ll \alpha'$) одночасно задовольняє статистичний (відхилення H_0 після поправки Бонферроні) та змістовний ($\Delta OA > 2$ п.п.) критерії; перехід від класичних методів до гібридної

архітектури знижує частку помилок класифікації приблизно у 42 рази, що технічно уможливлює AR-візуалізацію у режимі реального часу.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше пропонується інтегрована архітектура, яка поєднує гібридну спектрально-просторову модель класифікації з механізмом уваги та просторово-узгоджену AR-візуалізацію її результатів у єдиному контурі підтримки прийняття рішень з обов'язковою експертною валідацією. Методологічний внесок включає процедуру обґрунтування технічної основи системи через статистично коректне порівняння класифікаторів з контролем групової похибки першого роду.

Практична значущість результатів полягає у формуванні методологічного шаблону для експериментальної частини дисертації та у потенціалі застосування системи у задачах дистанційного моніторингу довкілля, прецизійного землеробства, неруйнівного контролю та інтраопераційної діагностики. Подальші етапи дослідження включають розроблення модуля просторової реєстрації AR-візуалізації, оцінювання сумісної продуктивності класифікаційного та візуалізаційного компонентів у режимі реального часу і натурні випробування з експертами предметної області.

Список використаних джерел

1. Martinez B., Leon R., Fabelo H. et al. SLIMBRAIN: Augmented reality real-time acquisition and processing system for hyperspectral classification mapping with depth information for in-vivo surgical procedures. Journal of Systems Architecture. 2024. Vol. 150. Article 103118.

2. Roy S. K., Manna S., Song T., Bruzzone L. Attention-based adaptive spectral-spatial kernel ResNet for hyperspectral image classification. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2021. Vol. 59, No. 9. P. 7831–7843.

3. Paoletti M. E., Haut J. M., Plaza J., Plaza A. Deep learning classifiers for hyperspectral imaging: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. Vol. 158. P. 279–317.

4. Dietterich T. G. Approximate statistical tests for comparing supervised classification learning algorithms. Neural Computation. 1998. Vol. 10, No. 7. P. 1895–1923.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Жилка Максим Вікторович
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, dexhonesta@gmail.com
Мацуга Ольга Миколаївна
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій, кандидат технічних наук, доцент, olga.matsuga@gmail.com

PERFORMANCE ANALYSIS OF COLLABORATIVE FILTERING METHODS IN RECOMMENDER SYSTEMS

Zhylka Maksym Viktorovych
Oles Honchar Dnipro National University, Bachelor's Student, dexhonesta@gmail.com
Matsuga Olga Mykolaivna
Oles Honchar Dnipro National University, Associate Professor at the Department of Software Engineering and Information Technologies, PhD, olga.matsuga@gmail.com

To identify the most effective recommendation strategy, this work explores various collaborative filtering methodologies using MovieLens data, focusing on the synergy between accuracy and computational cost. By benchmarking ALS and BPR against classical neighborhood-based methods using standard ranking metrics (Precision, Recall, and HitRate), the analysis demonstrates that ALS integrated with BM25 weighting achieves the most balanced performance profile.

Keywords: recommendation systems, collaborative filtering, matrix factorization, MovieLens, performance analysis.

Рекомендаційні системи є невід'ємною складовою сучасних високонавантажених вебплатформ. Одним із найпоширеніших підходів до їх побудови є колаборативна фільтрація, однак вибір

конкретного методу, що забезпечує компроміс між точністю рекомендацій та обчислювальною ефективністю, потребує розширеного аналізу.

Мета роботи – це проведення порівняльного аналізу методів колаборативної фільтрації на основі набору даних MovieLens. Для її досягнення було сформульовано такі завдання:

1. Дослідити підходи на основі пам'яті (memory-based): User-based та Item-based із використанням KNN [2].

2. Дослідити методи матричної факторизації (model-based): ALS (Alternating Least Squares) та BPR (Bayesian Personalized Ranking) [1, 1].

3. Порівняти результати методів за метриками: Recall@k, Precision@k та HitRate@k.

Дослідження виконано на наборі даних MovieLens (610 користувачів, 9724 фільмів). Взаємодії представлено у вигляді розрідженої матриці. Для усунення індивідуального зміщення користувача було застосовано процедуру центрування даних. Валідацію проведено за сценарієм теплого старту (warm start).

Для User-based методу було виконано дослідження впливу мір подібності (кореляція Пірсона та косинусна відстань) і кількості сусідів (k=30 та k=50). Найкращу ефективність продемонстровано у разі використання косинусної відстані на центрованих даних при k=30. Збільшення кількості сусідів до 50 знизило точність через додавання статистичного шуму.

Для Item-based методу було виявлено його архітектурні обмеження. Через необхідність порівняння понад 9000 фільмів між собою алгоритм показав низьку релевантність (Hit@20 = 0.032) та низьку швидкодію: сумарний час розрахунку подібності та видачі результату понад 10 хвилин проти 5 секунд у User-based.

Результати порівняння memory-based підходів наведено на рисунку 1. Час виконання є сумарним показником, що включає як розрахунок подібності між усіма користувачами/фільмами, так і формування рекомендацій. Отримані результати свідчать про проблему масштабованості. На даному наборі вона більш виражена для Item-based підходу (оскільки має місце 9724 користувачів проти 610 фільмів), але є характерною для обох

підходів.

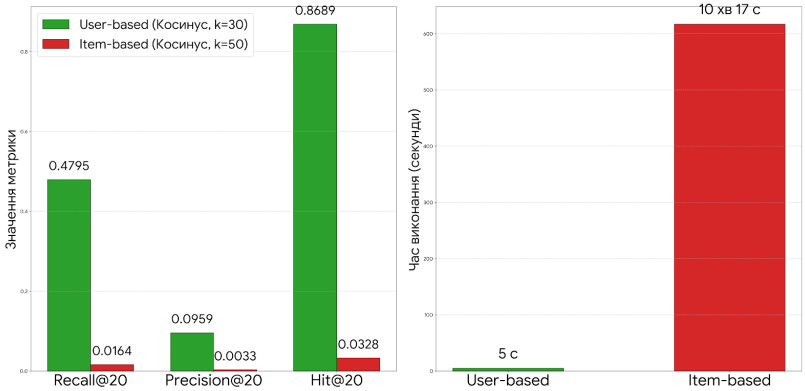


Рисунок 1. Порівняння точності рекомендацій та часу для User-based та Item-based методів

Для вирішення проблеми масштабованості було досліджено методи матричної факторизації ALS та BPR.

Для методу ALS було досліджено вплив схем зважування вхідної матриці взаємодій. Зокрема, порівнювались лінійне масштабування та зважування BM25. Лінійне масштабування забезпечило значення Hit@20 = 0.7115 та Recall@20 = 0.3877, тоді як використання BM25 дозволило суттєво покращити результати (Hit@20 = 0.8721, Recall@20 = 0.5369). Це пояснюється тим, що BM25 нелінійно знижує вагу популярних фільмів на користь нішевих, що підвищує якість рекомендацій. У результаті метод ALS продемонстрував найкращі показники серед розглянутих підходів. Крім того, завдяки використанню латентних факторів час формування рекомендацій скоротився до одиниць мілісекунд.

Метод BPR продемонстрував гіршу ефективність порівняно з User-based та ALS методами (Hit@20 = 0.6738). Причиною стало те, що BPR орієнтований на попарне порівняння і зводить наявні оцінки до бінарних подій взаємодії, втрачаючи при цьому інформацію про реальну «силу» вподобання.

Результати порівняння усіх досліджених у роботі методів представлено на рисунку 2.

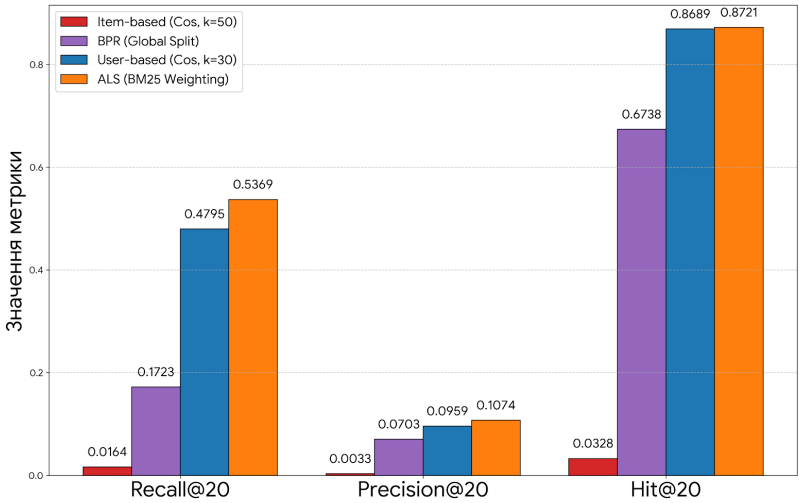


Рисунок 2. Порівняння методів колаборативної фільтрації

Результати дослідження підтвердили перевагу model-based над memory-based методами для обробки великих масивів даних. Найкращі показники за метриками Hit@k та Recall@k продемонстрував метод ALS зі зважуванням BM25, що забезпечило баланс між точністю системи та мілісекундним часом відгуку. Метод User-based KNN показав конкурентну якість у сценарії теплого старту при використанні косинусної відстані на центрованих даних. Водночас Item-based KNN метод виявився неефективним для даної вибірки через обчислювальні обмеження та низьку релевантність. Гірші результати BPR пояснюються втратою інформації про силу вподобань при бінаризації явних рейтингів набору даних MovieLens.

Список використаних джерел

1. Aggarwal, C. C. (2016). *Recommender Systems: The Textbook*. Springer.

2. Rendle, S., Freudenthaler, C., Gantner, Z., & Schmidt-Thieme, L. (2009). BPR: Bayesian Personalized Ranking from Implicit Feedback. *Proceedings of the 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 452–461. https://doi.org/10.48550/arXiv.1205.2618

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА КІЛЬКОХ GPU

Замета Марія Олександрівна
Харківський національний університет радіоелектроніки, студентка факультету комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій, mariia.zameta@nure.ua
Аксак Наталія Георгіївна
Харківський національний університет радіоелектроніки, д.т.н., професор кафедри інформаційних систем та технологій, nataliia.axak@nure.ua

ANALYSIS OF PARALLEL TRAINING METHODS FOR NEURAL NETWORKS ON MULTIPLE GPUS

Zameta Mariia
Kharkiv National University of Radio Electronics, student of the Faculty of Computer Engineering and Information Technologies, mariia.zameta@nure.ua
Aksak Nataliia
Kharkiv National University of Radio Electronics, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, nataliia.axak@nure.ua

The purpose of the paper is to carry out a comparative study of data parallelism and model parallelism in multi-GPU neural network training, with a focus on their implementation principles, advantages, limitations, and efficient application conditions.

Keywords: neural networks, GPU, parallel training, data parallelism, model parallelism, distributed computing.

Стрімкий розвиток глибинного навчання зумовив появу моделей, для навчання яких уже недостатньо ресурсів одного графічного процесора. Зростання кількості параметрів, обсягів даних і складності архітектур підвищує вимоги не лише до обчислювальної потужності, а й до обсягу пам'яті та швидкості обміну між пристроями.

Метою дослідження є проведення порівняльного

дослідження методів data parallelism і model parallelism у контексті паралельного навчання нейронних мереж на кількох GPU для визначення їх принципів реалізації, переваг, обмежень і умов ефективного застосування.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження: 1) узагальнити принципи реалізації паралельного навчання нейронних мереж на кількох GPU; 2) охарактеризувати особливості реалізації методів data parallelism і model parallelism; 3) здійснити порівняння їхніх переваг, обмежень та умов ефективного застосування; 4) обґрунтувати доцільність використання гібридних схем паралелізації в сучасних системах навчання нейронних мереж.

Підхід data parallelism передбачає, що тренувальні дані або мінібатч ділиться між кількома GPU, а на кожному пристрої розміщується копія моделі. Кожен GPU виконує пряме та зворотне поширення для своєї частини даних, після чого обчислені градієнти синхронізуються, а параметри моделі оновлюються узгоджено. Завдяки цьому зростає пропускна здатність навчання, а реалізація такого підходу в сучасних фреймворках є відносно простою.

Перевагами data parallelism є добра масштабованість для задач, у яких модель повністю вміщується в пам'ять одного GPU, наявність готових засобів у PyTorch та інших платформах, а також зручність інтеграції в існуючі навчальні скрипти. Основні обмеження: витрати на синхронізацію градієнтів, дублювання параметрів на кожному пристрої та неможливість працювати з моделями, що не вміщуються в пам'ять GPU.

За способом синхронізації data parallelism поділяють на синхронний та асинхронний. У синхронному режимі всі пристрої очікують завершення обчислень на кожному кроці, після чого виконується узгоджене оновлення ваг. Такий варіант забезпечує стабільніший процес навчання. В асинхронному режимі GPU працюють незалежніше, що підвищує швидкодію, але ускладнює узгодженість параметрів і може погіршити збіжність моделі.

Model parallelism застосовується тоді, коли модель настільки велика, що її неможливо повністю розмістити на одному GPU. У

такому разі різні частини обчислювального графа або окремі тензорні операції розподіляються між пристроями. Це дозволяє навчати значно більші моделі, однак вимагає складнішого проєктування взаємодії між GPU.

Однією з форм model parallelism є tensor parallelism, за якого великі матричні операції всередині шару поділяються між кількома пристроями. Іншою формою є pipeline parallelism, коли послідовні групи шарів розміщуються на різних GPU, а мінібатчі проходять через них за конвеєрним принципом. Підхід дає змогу ефективніше використовувати пам'ять, але може спричиняти простої окремих пристроїв через «pipeline bubbles».

Сильними сторонами model parallelism є можливість навчання надвеликих моделей та зменшення потреби дублювати всі параметри на кожному GPU. Разом з тим цей підхід складніший в реалізації, потребує ретельного балансування навантаження та швидких каналів міжпроцесорного обміну.

У сучасних системах дедалі частіше використовують гібридні схеми, які поєднують data parallelism, tensor parallelism і pipeline parallelism. Така комбінація дає змогу одночасно масштабувати і дані, і модель, добираючи схему паралелізації відповідно до конфігурації апаратного забезпечення.

Ефективність паралельного навчання значною мірою залежить від алгоритмів синхронізації та апаратної інфраструктури: для обміну градієнтами широко застосовується Ring-AllReduce, що забезпечує близьке до лінійного масштабування за умови швидких міжпристрійних з'єднань (NVLink, InfiniBand). Сучасні розширення data parallelism, як ZeRO у DeepSpeed та FSDP у PyTorch, шардують стани оптимізатора, градієнти й параметри між GPU, що дає змогу навчати моделі з мільярдами параметрів без переходу до повноцінного model parallelism. Поєднання data, tensor і pipeline parallelism (3D-паралелізм) стало стандартом для навчання моделей масштабу GPT-3 і PaLM.

У роботі здійснено порівняльне дослідження методів data parallelism і model parallelism у задачі паралельного навчання нейронних мереж на кількох GPU. Узагальнено принципи

реалізації паралельного навчання та охарактеризовано особливості застосування кожного з розглянутих підходів. Встановлено, що data parallelism є доцільним для задач, у яких модель повністю вміщується в пам'ять одного GPU та потрібне ефективне масштабування за даними, тоді як model parallelism є необхідним для навчання великих моделей, обмежених обсягом пам'яті окремого пристрою. Обґрунтовано, що в сучасних високопродуктивних системах найперспективнішим рішенням є використання гібридних схем, які поєднують переваги кількох підходів до паралелізації.

Список використаних джерел

1. Goyal, P., Dollár, P., Girshick, R., Noordhuis, P., Wesolowski, L., Kyrola, A., Tulloch, A., Jia, Y., & He, K. (2017). Accurate, large minibatch SGD: Training ImageNet in 1 hour. https://arxiv.org/abs/1706.02677.

2. Huang, Y., Cheng, Y., Bapna, A., Firat, O., Chen, M. X., Chen, D., Lee, H., Ngiam, J., Le, Q. V., Wu, Y., & Chen, Z. (2019). GPipe: Efficient training of giant neural networks using pipeline parallelism. Advances in Neural Information Processing Systems, 32, 103-112.

3. Shoeybi, M., Patwary, M., Puri, R., LeGresley, P., Casper, J., & Catanzaro, B. (2019). Megatron-LM: Training multi-billion parameter language models using model parallelism. https://arxiv.org/abs/1909.08053.

4. Zhao, Y., Gu, A., Varma, R., Luo, L., Huang, C.-C., Xu, M., Wright, L., Shojanazeri, H., Ott, M., Shleifer, S., Desmaison, A., Balioglu, C., Damania, P., Nguyen, B., Chauhan, G., Hao, Y., Mathews, A., & Li, S. (2023). PyTorch FSDP: Experiences on scaling fully sharded data parallel. Proceedings of the VLDB Endowment, 16(12), 3848-3860. https://doi.org/10.14778/3611540.3611569.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ

Зленський Андрій Олексійович
Національний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри ІТ, studylearnerstudy@gmail.com

ANALYSIS OF METHODS FOR FORMING ADAPTIVE ARCHITECTURE OF INTELLECTUAL AGENTS

Zlensky Andriy Oleksiyovych
Odesa Polytechnic National University, postgraduate student of the IT Department, studylearnerstudy@gmail.com

This paper analyzes engineering approaches to the formation of adaptive architectures for intelligent agents, focusing on modular design, hybrid models, and real-time data processing. The results highlight the importance of integrating learning mechanisms and distributed system principles for achieving scalability and robustness.

Keywords: intelligent agents, adaptive architecture, multi-agent systems, deep learning.

У прикладних задачах розроблення інтелектуальних систем керування та аналізу даних все більшої ваги набуває проблема побудови адаптивної архітектури інтелектуальних агентів, здатних ефективно функціонувати в умовах змінного середовища, неповноти інформації та високої динаміки процесів. На відміну від традиційних програмних систем, які мають жорстко визначену структуру, інтелектуальні агенти повинні забезпечувати гнучку перебудову внутрішніх компонентів, адаптацію стратегій поведінки та інтеграцію нових джерел даних без істотної деградації продуктивності. У цьому контексті актуальним є аналіз методів формування адаптивної архітектури, що поєднує інженерні принципи проєктування та сучасні підходи штучного інтелекту.

Інженерно-технічний підхід до побудови архітектури інтелектуальних агентів передбачає декомпозицію системи на функціональні модулі з чітко визначеними інтерфейсами та

механізмами взаємодії.

Базова структура агента зазвичай включає підсистеми сприйняття, обробки знань, прийняття рішень та виконання дій. Однак у випадку адаптивних систем ці підсистеми повинні підтримувати можливість динамічної реконфігурації, що реалізується через використання модульних і сервісно-орієнтованих архітектур.

Такий підхід дозволяє ізолювати окремі компоненти та змінювати їх незалежно від інших частин системи [1]. Одним із ключових методів формування адаптивної архітектури є застосування багаторівневих моделей організації, у межах яких кожен рівень відповідає за певний клас функцій.

На нижньому рівні реалізується обробка вхідних даних та їх нормалізація, що забезпечує уніфіковане представлення інформації. Середній рівень відповідає за формування внутрішніх представлень і моделей середовища, використовуючи методи машинного навчання та статистичного аналізу. Верхній рівень реалізує логіку прийняття рішень і планування дій, враховуючи як поточний стан системи, так і стратегічні цілі.

Важливим аспектом є вибір методів адаптації, які визначають здатність агента змінювати свою поведінку. До таких методів належать механізми навчання на основі даних, зокрема онлайн-навчання, підкріплювальне навчання та перенесення знань. Онлайн-навчання дозволяє оновлювати параметри моделей у процесі роботи системи, що забезпечує оперативну реакцію на зміни середовища.

Підкріплювальне навчання забезпечує формування оптимальних стратегій поведінки через взаємодію з середовищем і отримання зворотного зв’язку. Перенесення знань дозволяє використовувати попередній досвід для прискорення навчання в нових умовах [2].

З інженерної точки зору значну роль відіграють методи організації взаємодії між агентами у багатоагентних системах. Використання протоколів обміну повідомленнями, механізмів координації та розподілу ресурсів дозволяє забезпечити узгоджену роботу агентів у складних середовищах.

Аналіз сучасних методів показує, що важливим напрямом є інтеграція символічних і субсимволічних підходів у межах єдиної архітектури. Символічні методи забезпечують логічне виведення та інтерпретованість, тоді як субсимволічні, зокрема нейронні мережі, забезпечують високу точність і здатність до навчання. Гібридні архітектури дозволяють поєднувати ці переваги, забезпечуючи баланс між ефективністю та пояснюваністю.

Окрему увагу слід приділити механізмам управління знаннями в інтелектуальних агентах. Використання баз знань, онтологій і графів знань дозволяє структурувати інформацію та забезпечити її ефективне використання. У адаптивних системах важливо забезпечити динамічне оновлення знань, що досягається шляхом інтеграції механізмів навчання та логічного виведення [3].

З практичної точки зору суттєвим є питання реалізації програмної інфраструктури. Використання контейнеризації, оркестрації та хмарних технологій дозволяє забезпечити масштабованість і відмовостійкість системи. Мікросервісна архітектура забезпечує можливість незалежного розгортання та оновлення компонентів, що є критично важливим для адаптивних систем. Крім того, застосування потокових платформ обробки даних дозволяє реалізувати обробку інформації в реальному часі.

Список використаних джерел

1. Russell, S., & Norvig, P. (2022). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson. https://doi.org/10.5555/1671238

2. Wooldridge, M., & Jennings, N. R. (2021). Intelligent agents: Theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 36, e5. https://doi.org/10.1017/S0269888921000054

3. Zhang, H., Li, Y., & Wang, J. (2024). Adaptive multi-agent architectures based on deep reinforcement learning. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 54(2), 1234–1246. https://doi.org/10.1109/TSMC.2023.3267890.

ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ ВЕБІНТЕРФЕЙСІВ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Ковалюк Денис Ярославович
Волинський національний університет імені Лесі Українки, студент, кафедра комп'ютерних наук та кібербезпеки, deniskovaluk0992@gmail.com
Павленко Юлія Степанівна
Волинський національний університет імені Лесі Українки, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та кібербезпеки, Pavlenko.Yulya@vnu.edu.ua

PERSONALIZATION OF WEB INTERFACES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Kovaliuk Danys
Lesya Ukrainka Volyn National University, student, Department of Computer Science and Cybersecurity, deniskovaluk0992@gmail.com
Pavlenko Yuliia
Lesya Ukrainka Volyn National University, Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Cybersecurity, Pavlenko.Yulya@vnu.edu.ua

This paper explores the integration of artificial intelligence to create dynamic, personalized web interfaces that adapt to user behavior in real time. It highlights the technical interaction between server-side machine learning – ensuring data privacy through federated learning – and efficient client-side DOM manipulation. Furthermore, the study discusses how AI enhances web accessibility and paves the way for fully generative, user-centric environments.

Keywords: Artificial Intelligence, Web Personalization, Federated Learning.

Сьогодні вебтехнології поступово відходять від ідеї «однакового дизайну для всіх». Кожен користувач має власні цілі

та звички, тому класичні сайти часто здаються незручними. Як показують дослідження у сфері взаємодії людини та комп'ютера, жорстко задані інтерфейси не здатні оптимально підлаштовуватися під користувачів, що призводить до падіння активності на сайті [1]. Вирішенням цієї проблеми стає впровадження штучного інтелекту (ШІ), який здатний аналізувати поведінку людини і змінювати вигляд сторінки прямо під час її перегляду.

Робота ШІ з вебінтерфейсами починається ще до того, як сайт потрапляє до користувача. Раніше розробникам доводилося проводити довгі A/B тестування, щоб зрозуміти, який дизайн працює краще. Зараз різні алгоритми можуть заздалегідь оцінити макет сторінки, кольори та розташування кнопок, щоб спрогнозувати, наскільки зручним буде такий інтерфейс [2].

Але найцікавіше відбувається під час самої взаємодії. Сучасні адаптивні системи використовують моделі машинного навчання, щоб відстежувати «шлях користувача» – куди він клікає, як довго читає текст, що шукає. На основі цих даних алгоритми автоматично переставляють елементи сторінки. Наприклад, якщо система бачить, що людина губиться в меню, вона може вивести потрібну категорію на передній план або змінити структуру фільтрів [1].

З технічного боку реалізація такої системи вимагає правильного розподілу завдань між сервером (бекендом) та браузером (фронтендом). Оскільки машинне навчання потребує багато ресурсів, уся логіка ШІ зазвичай працює на сервері. Наприклад, обробка даних та генерація прогнозів чудово реалізується за допомогою скриптів на python. Сервер швидко аналізує дії користувача і відправляє на фронтенд легкі JSON-відповіді з вказівками, які саме блоки інтерфейсу потрібно змінити.

Тут виникає інша проблема: як зробити так, щоб інтерфейс оновлювався миттєво і сторінка не «гальмувала». Для цього

розробникам потрібно максимально оптимізувати роботу з DOM-деревом у браузері. Якщо використовувати старі або «важкі» методи пошуку елементів, такі як getElementsByTagName, постійна зміна дизайну буде перевантажувати сторінку. Значно розумніше і швидше використовувати пряму навігацію – наприклад, властивості children, firstElementChild або nextElementSibling. Завдяки цьому браузер моментально знаходить потрібні елементи і точково оновлює їх, не перемальовуючи все навколо.

Ще одне важливе питання, яке не можна ігнорувати – це конфіденційність. Збирати інформацію про кожен клік користувача небезпечно з огляду на приватність. Щоб обійти цю проблему, сучасні технології вебперсоналізації починають використовувати федеративне навчання (Federated Learning) [3]. Суть методу в тому, що ШІ вивчає звички користувача локально, прямо на його пристрої. На загальний сервер відправляються не особисті дані людини, а лише готові «знання» про те, як краще налаштовувати інтерфейс. Це дозволяє робити сайти зручними, не порушуючи правил безпеки даних.

Окремо варто відзначити роль штучного інтелекту в забезпеченні вебдоступності. Для користувачів із порушеннями зору або особливостями моторики ШІ може автоматично адаптувати інтерфейс на льоту: коригувати контрастність, масштабувати шрифти, змінювати кольорову палітру або перетворювати складні навігаційні меню на прості голосові підказки. Це робить сучасні сайти не лише зручними для масового споживача, але й реально інклюзивними, допомагаючи розробникам автоматично дотримуватися міжнародних стандартів доступності контенту.

Ще одним перспективним напрямком розвитку є перехід від простого перекомпонування існуючих блоків до концепції генеративних інтерфейсів. Завдяки інтеграції великих мовних моделей безпосередньо в архітектуру вебдодатків, майбутні

системи зможуть створювати унікальні елементи дизайну з нуля під конкретний запит чи настрій користувача. Це перетворить сторінку на динамічний простір, де фронтенд генерується в реальному часі, максимально точно відповідаючи поточним намірам відвідувача і стираючи межу між класичним дизайном та штучним інтелектом.

Отже, використання штучного інтелекту у фронтенді – це вже не просто експерименти, а реальний інструмент розробника. Комбінація розумного бекенду, швидкої роботи з DOM-деревом на клієнті та сучасних підходів до безпеки даних дозволяє створювати вебінтерфейси, які самостійно адаптуються під кожного окремого користувача, роблячи взаємодію з вебом максимально комфортною.

Список використаних джерел

1. Intelligent Front-End Personalization: AI-Driven UI Adaptation. arXiv.org. URL: https://arxiv.org/abs/2602.03154 .

2. The Application of Deep Learning for the Evaluation of User Interfaces. MDPI. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/22/23/9336 .

3. Prototype-Aligned Federated Soft-Prompts for Continual Web Personalization. arXiv.org e-Print archive. URL: https://arxiv.org/html/2603.27678v1 .

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СТУПЕНЯ ПОШКОДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ЗОБРАЖЕННЯХ БПЛА

Кравець Ілля Вячеславович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри програмної інженерії комп'ютерних систем, kravets.illia@chnu.edu.ua
Угрин Дмитро Ілліч
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук, d.ugryn@chnu.edu.ua

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR BUILDING DAMAGE SEVERITY CLASSIFICATION ON UAV IMAGERY

Kravets Illia Vyacheslavovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student at the Department of Software Engineering of Computer Systems, kravets.illia@chnu.edu.ua
Uhryn Dmytro Illich
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Computer Science, d.ugryn@chnu.edu.ua

The work presents a comparative analysis of four deep learning architectures (ResNet-50, EfficientNetV2-S, ConvNeXt-Tiny, MobileNetV3-Large) for building damage classification on UAV imagery within a cascaded YOLOv8→SegFormer→classifier pipeline. All models were trained under unified conditions on the RescueNet dataset. EfficientNetV2-S achieved the highest macro F1 (0.813), while ConvNeXt-Tiny showed the best accuracy-latency trade-off (6.3 ms/image).

Keywords: deep learning, image classification, building damage assessment, UAV, RescueNet, cascaded architecture.

Природні катастрофи та військові дії щороку спричиняють

масштабні руйнування інфраструктури, через що критично важливою стає швидка та точна оцінка ступеня пошкодження кожного об'єкта. У наших попередніх роботах [1, 2] обґрунтовано каскадний підхід «детекція → сегментація → класифікація» (рис. 1), у якому третій етап відповідає за віднесення будівлі до одного з рівнів пошкодження. Метою цієї роботи є визначення оптимальної архітектури глибинного навчання для третього етапу шляхом порівняння чотирьох моделей у строго уніфікованих умовах.

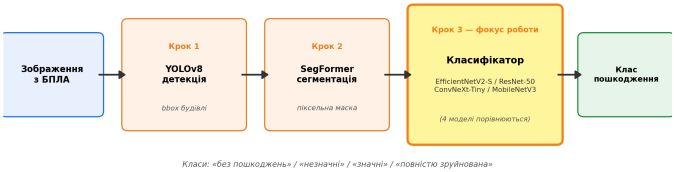


Рисунок 1. Каскадна архітектура з фокусом на третьому кроці

Підготовка датасету. Адаптацію датасету RescueNet [3] виконано шляхом аналізу зв'язних компонент окремо для кожного з чотирьох класів пошкодження. Підсумково отримано 9 700 зразків (8 500 train / 1 200 val / 700 test). На вхід класифікатора подається добуток RGB×маска (рис. 2): пікселі поза межами будівлі обнуляються, що відтворює реальний потік даних каскаду; кропи масштабуються до 224×224, нормалізуються за статистиками ImageNet та доповнюються аугментаціями (віддзеркалення, поворот ±15°, зміни яскравості/контрастності).

Рисунок 2. Приклади тренувальних пар «RGB-кроп / RGB×маска»

Огляд обраних моделей. ResNet-50 [4] — класична згорткова архітектура з residual з'єднаннями. EfficientNetV2-S [5] використовує compound-масштабування разом із блоками Fused-MBConv. ConvNeXt-Tiny [6] — сучасна згорткова архітектура з ідеями трансформерів. MobileNetV3-Large [7] — легка мобільна архітектура з depth-wise separable згортками, основний кандидат для edge-розгортання.

Усі чотири моделі тренувалися 30 епох в ідентичних умовах: оптимізатор AdamW [8] (lr=1e-4, weight decay=1e-4), cosine annealing з 3 епохами warmup, batch=32, image size 224×224, зважена крос-ентропія, ваги ImageNet, seed 42. Тренування — в Google Colab на NVIDIA Tesla T4.

Підсумкові метрики на тестовій вибірці наведено в табл. 1 та на рис. 3. Найвищу точність забезпечує EfficientNetV2-S (Macro F1 = 0,813). ResNet-50 та ConvNeXt-Tiny показали практично рівнозначні результати (0,795–0,797) при суттєво меншій латентності. Найскромніший показник продемонструвала MobileNetV3-Large (0,776) через значно менший розмір моделі (4,2 млн параметрів).

Таблиця 1. Порівняння класифікаторів на тестовій вибірці RescueNet

Модель	**Парам., млн**	**Acc., %**	**Macro F1**	**Lat., мс**	**FPS**
EfficientNetV2-S	20,2	80,12	0,813	19,1	52,4
ResNet-50	23,5	79,14	0,797	7,2	139,8
ConvNeXt-Tiny	27,8	78,27	0,795	6,3	159,5
MobileNetV3-L	4,2	76,67	0,776	7,2	138,7

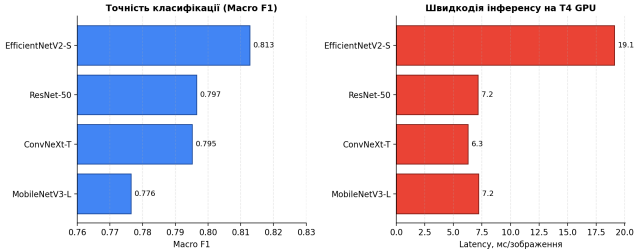


Рисунок 3. Порівняння за Macro F1 (ліворуч) та latency

(праворуч)

Парето-оптимальними є ConvNeXt-Tiny (рекордна швидкодія 6,3 мс при близькій до кращої точності — практичний вибір для бортового розгортання на БПЛА) та EfficientNetV2-S (безальтернативна для офлайн-аналізу). На рівні класів усі моделі дають найвищі F1 на крайніх класах «без пошкоджень» (~0,84) та «зруйнована» (0,92–0,94), а проміжні «незначні» (0,63–0,72) та «значні» (0,71–0,76) залишаються найскладнішими через природну неоднозначність анотацій.

Висновки. Уніфіковане порівняння показало, що оптимальним вибором є EfficientNetV2-S для офлайн-сценаріїв та ConvNeXt-Tiny для бортового розгортання. Перспективними напрямами є дистиляція знань, label smoothing/Mixup та end-to-end донавчання каскаду.

Список використаних джерел

1. Кравець, І. В., & Угрин, Д. І. (2026). Порівняльний аналіз моделей детекції та сегментації для оцінки пошкоджень будівель на зображеннях БПЛА. ЧНУ ім. Ю. Федьковича.

2. Кравець, І. В., Угрин, Д. І., & Терлецький, Т. В. (2025). Дослідження глибинного навчання для розпізнавання уражень об’єктів у надзвичайних ситуаціях. ЧНУ ім. Ю. Федьковича.

3. Rahnemoonfar, M., Chowdhury, T., & Murphy, R. (2023). RescueNet: A High Resolution UAV Semantic Segmentation Dataset. Scientific Data, 10, 913.

4. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. In Proc. IEEE CVPR (pp. 770–778).

5. Tan, M., & Le, Q. V. (2021). EfficientNetV2: Smaller Models and Faster Training. In Proc. ICML (pp. 10096–10106).

6. Liu, Z., Mao, H., Wu, C.-Y., et al. (2022). A ConvNet for the 2020s. In Proc. IEEE/CVF CVPR (pp. 11976–11986).

7. Howard, A., Sandler, M., Chu, G., et al. (2019). Searching for MobileNetV3. In Proc. IEEE/CVF ICCV (pp. 1314–1324).

8. Loshchilov, I., & Hutter, F. (2019). Decoupled Weight Decay Regularization. In Proc. ICLR.

ЕФЕКТИВНІСТЬ МАШИННОГО ПЕРЕКЛАДУ З АНГЛІЙСЬКОЇ НА УКРАЇНСЬКУ МОВУ

Мельник Катерина
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент,
кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки,
ekaterinamelnik@gmail.com
Омельчук Дмитро
Луцький національний технічний університет, магістр,
dmytroomelchuk46@gmail.com
Лавренчук Світлана
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент,
кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки,
LavrSveet@gmail.com

EFFICIENCY OF MACHINE TRANSLATION FROM ENGLISH TO UKRAINIAN

Melnyk Kateryna
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor,
Department of Computer Engineering and Security
ekaterinamelnik@gmail.com
Omelchuk Dmytro
Lutsk National Technical University, master
dmytroomelchuk46@gmail.com
Lavrenchuk Svitlana
Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor,
Department of Computer Engineering and Security,
LavrSveet@gmail.com

This paper analyzes translation methods from statistical models to modern neural architectures and LLM. The results of English-Ukrainian translation on general-purpose corpora were compared using BLEU, METEOR, chrF++ metrics. The analysis found that neural models demonstrate higher fluency, but did not take into account highly specialized terminology in the conditions of model quantization.

Keywords: machine translation, model evaluation, benchmark.

У сучасному світі для подолання мовних бар'єрів між людьми особливої актуальності набуває питання якісного машинного перекладу (МП) з англійської на українську мову на фоні європейської інтеграції України, розширення міжнародної співпраці та зростаючого обсягу англомовного контенту, що потребує адаптації для українського користувача. Морфологічна складність української мови з її відмінками, родами та численними формами дієслів, разом із абсолютно відмінним синтаксисом від англійської, створюють значні перешкоди для якісного автоматичного перекладу. Також, відносно обмежені паралельні корпуси текстів ускладнюють процес навчання моделей машинного перекладу для англійсько-української комбінації мов.

Оцінка якості МП залишається одним з найскладніших завдань у галузі обробки природної мови. Оскільки переклад, на відміну від багатьох інших завдань обробки природної мови, не має чітко визначеного «правильного» результату, існує множина допустимих варіантів перекладу, які можуть відрізнятися лексично, стилістично і навіть семантично, зберігаючи при цьому загальну адекватність. У зв'язку з цим, у дослідженнях та розробці систем МП використовується широкий спектр метрик, які можна класифікувати за різними ознаками (наприклад, автоматичні та експертні (ручні) метрики).

У роботі [1] розглядається еволюція МП: на основі правил, на основі прикладів та статистичного машинного перекладу та детальніше нейронний машинний переклад, включаючи платформу Transformer, обговорюються проблеми та майбутні напрямки досліджень у цій галузі.

У роботі [2] в межах міжнародного змагання проведено масштабне дослідження, де українська мова була обрана як пріоритетна. Було використано такі методи, як масове навчання моделей на великих паралельних корпусах, основними критеріями стали COMET та Human Direct Assessment. Було встановлено, що системи досягли рівня, близького до людського в новинному домені, але не було враховано стійкість до

діалектизмів. Для попередньої фільтрації тренувальних даних застосовувалася технологія Fuzzy matches.

Великі мовні моделі (LLM) забезпечують якісний МП, однак мають труднощі з узагальненням в умовах низьких ресурсів та обчислювальних витрат. Поєднання LLM з іншими методами машинного перекладу та людським досвідом може забезпечити найвищу якість перекладу [1]. Технологія нечітких збігів (fuzzy matches), що традиційно використовується у системах перекладацької пам'яті, демонструє потенціал для інтеграції з сучасними нейронними підходами. Наприклад, в роботі [3] представлено потужний метод доповнення даних для підвищення продуктивності нейронного МП шляхом використання інформації, отриманої з пам'яті перекладів (підвищення точності на 2-3 пункти BLEU), але не було враховано сповільнення швидкості генерації.

Нами розглянуто теоретичні основи та критерії оцінки ефективності МП та представлено експериментальні результати перекладу з використанням технології нечітких збігів, що однак не підвищило консистентність тексту внаслідок низького рівня повторюваності. При тестуванні було обрано відносно невеликі моделі, які вийшли за останні кілька років. Результати тестування наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння оцінок якості машиного перекладу

Модель	BLEU	chrF++	TER
lang-uk/dragoman	33.31	63.68	102.38
facebook/nllb-200-distilled-1.3B	29.94	63.68	104.42
meta-llama/Llama-3.1-8B-Instruct	17.33	59.64	104.42
facebook/seamless-m4t-v2-large	**37.35**	**58.49**	**94.48**
Helsinki-NLP/opus-mt-en-uk	28.98	56.64	109.39
mistralai/Mistral-7B-Instruct-v0.3	6.21	55.68	119.34
microsoft/phi-4-mini-instruct	13.06	54.79	124.31
facebook/nllb-200-distilled-600M	23.02	53.5	124.31
Qwen/Qwen2.5-7B-Instruct	20.55	48.82	134.25

Здійснена перевірка, як спеціалізованої моделі для перекладу окремої мовної пари, так і моделі, які здатні до перекладу різними мовами, а також великі мовні моделі, які

можуть бути використані як чат-боти.

Висновки. При досліджені модель facebook/seamless-m4t-v2-large показала кращі результати точності та швидкості перекладу з англійської на українську в порівнянні з lang-uk/dragoman, яка до цього часу вважалась найкращою. Оскільки тестування проводилось на корпусах даних, де через кожні кілька речень тематика повністю змінюється, то підвищити консистентність тексту та швидкість перекладу за рахунок Fuzzy Matches та Translation Memory не вдалося. Однак, в реальному світі, де слова та словосполучення дійсно можуть зустрічатись не один раз, інтеграція цих технологій, особливо у процес нейронного перекладу дозволяє вирішити проблему «забудькуватості» моделей. Слід зазначити, що для української мови розрахунок відсотка Fuzzy Match є складнішим через розвинену морфологію. Зміна лише одного відмінка в англійському слові не змінює його написання, тоді як в українській це призводить до зміни флексії (закінчення), що може знижувати математичний відсоток збігу, хоча семантично речення залишається тим самим.

Список використаних джерел

1. Wang, H., Wu, H., He, Z., Huang, L., & Church, K. W. (2022). Progress in machine translation. Engineering, 18, 143-153. https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.03.023.

2. Kocmi, T., Bawden, R., Bojar, O., Dvorkovich, A., Federmann, C., Fishel, M., ... & Popović, M. (2022, December). Findings of the 2022 conference on machine translation (WMT22). In Proceedings of the Seventh Conference on Machine Translation (WMT) (pp. 1-45). https://doi.org/10.18653/v1/2022.wmt-1.1

3. Bulte, B., & Tezcan, A. (2019, July). Neural fuzzy repair: Integrating fuzzy matches into neural machine translation. In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 1800 - 1809). https://doi.org/10.18653/v1/P19-1175.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ GCP VERTEX AI, KUBERNETES, DATAFLOW ТА МІКРОСЕРВІСІВ

Мовченюк Роман Валерійович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, movcheniuk.roman@chnu.edu.ua
Газдюк Катерина Петрівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, доктор філософії, доцент, k.gazdiuk@chnu.edu.ua

ARCHITECTURE OF AN X-RAY IMAGE ANALYSIS SYSTEM USING GCP VERTEX AI, KUBERNETES, DATAFLOW, AND MICROSERVICES

Movcheniuk Roman
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student, Department of Computer Systems Software, movcheniuk.roman@chnu.edu.ua
Hazdiuk Kateryna
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Head of the Department of Computer Systems Software, PhD, Associate Professor, k.gazdiuk@chnu.edu.ua

The paper presents an architectural approach for an automated X-ray image analysis system based on deep learning methods and Google Cloud Platform services. The proposed solution combines Vertex AI, Kubernetes, and Dataflow within a microservice paradigm and MLOps practices, ensuring scalability, fault tolerance, and compliance with HIPAA and GDPR requirements for processing medical data.

Keywords: Deep Learning, X-ray images, Google Cloud Platform, Vertex AI, Kubernetes, Dataflow, microservice architecture, MLOps.

Стрімке зростання обсягів медичних зображень та дефіцит

кваліфікованих радіологів зумовлюють необхідність створення автоматизованих систем аналізу рентгенівських знімків на основі глибокого навчання. Сучасні моделі deep learning, зокрема згорткові нейронні мережі та трансформерні архітектури, демонструють високу точність у виявленні патологій, проте їх упровадження у клінічну практику потребує надійної, масштабованої та керованої обчислювальної інфраструктури [1].

У роботі запропоновано архітектурний підхід до побудови такої системи на основі сервісів Google Cloud Platform (GCP), оркестрації Kubernetes, сервісу потокової обробки Dataflow та мікросервісної парадигми. Архітектура охоплює повний життєвий цикл машинного навчання — від отримання та попередньої обробки рентгенівських зображень до тренування, розгортання та моніторингу моделей.

Завантаження даних із локальних систем PACS у хмарне середовище здійснюється через Cloud Healthcare API з підтримкою стандартів DICOM та HL7. Для подієво-орієнтованої обробки використовується сервіс Pub/Sub, який публікує повідомлення про нові знімки та запускає аналітичні конвеєри одразу після надходження даних. Етап вилучення, перетворення та завантаження (ETL) реалізовано засобами Dataflow на основі фреймворку Apache Beam, що забезпечує уніфікований підхід до потокового та пакетного режимів обробки великих масивів даних.

Зберігання медичних зображень здійснюється у сервісі Google Cloud Storage із сегментацією за рівнем доступу, географічним розташуванням та класом безпеки. Метадані та агреговані результати аналізу зберігаються у BigQuery, що дозволяє формувати масштабовані аналітичні набори даних. Тренування моделей організовано на платформі Vertex AI, яка підтримує два підходи: AutoML для автоматизованої побудови класифікаторів та custom training для роботи з обраними архітектурами (ResNet, EfficientNet, Vision Transformer тощо). Для інтерпретації результатів застосовуються методи Grad-CAM та інтегрованих градієнтів, що підвищує довіру лікарів до автоматизованих діагностичних рішень [2].

Розгортання моделей виконується через Vertex AI Endpoints

у формі REST-служб для інференсу в режимах реального часу та пакетної обробки. Високопродуктивні сервіси інференсу запускаються у Google Kubernetes Engine (GKE), що забезпечує автоматичне горизонтальне масштабування, самовідновлення та ізоляцію ресурсів. Мікросервісна архітектура з асинхронною взаємодією через Pub/Sub дозволяє ізолювати функціональні компоненти (збір даних, передобробку, інференс, постобробку, зберігання результатів) і масштабувати окремо саме ті сервіси, які є «вузьким місцем» у ланцюжку обробки [3]. Компонент API Gateway виконує функції єдиної точки входу, забезпечує автентифікацію, авторизацію, лімітування запитів та централізоване логування.

Для порівняння технологічних можливостей провідних хмарних платформ у контексті побудови AI-рішень для медичної радіології узагальнено основні характеристики Google Cloud, AWS та Microsoft Azure (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняння хмарних платформ для обробки медичних зображень

Критерій	**Google Cloud**	**AWS**	**Microsoft Azure**
ML / AI-платформа	Vertex AI	SageMaker	Azure ML
Медична візуалізація	Medical Imaging Suite, DICOMweb	AWS HealthImaging	Azure DICOM Service, FHIR
Інференс і масштабування	Vertex AI Endpoints, GKE	SageMaker Endpoints, EC2 GPU	Azure ML Endpoints, AKS
Ключова перевага	Спеціалізація для медичних зображень	Гнучкість і масштабованість	Інтеграція з корпоративними системами

Оскільки життєвий цикл моделі не завершується на етапі розгортання, передбачено комплексний підхід до моніторингу та MLOps. Сервіс Vertex AI Model Monitoring відстежує якість прогнозів та дрейф даних, а для безперервної інтеграції та доставки (CI/CD) застосовується Cloud Build у поєднанні з Vertex AI Pipelines, що автоматизує запуск сесій тренування, реєстрацію моделей у Model Registry та їх поступове розгортання за схемою

canary-deployment.

Оскільки система обробляє чутливі персональні медичні дані (PHI), вона повинна відповідати вимогам стандартів HIPAA та GDPR. GCP забезпечує шифрування даних на дисках (AES-256) та у транзиті (TLS), управління ключами через Cloud KMS, диференційовані IAM-ролі та захист мережі на рівні VPC. Перед передачею у хмарне середовище дані проходять деперсоналізацію засобами Cloud Healthcare API.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні інтегрованої архітектури, що поєднує масштабовану обробку медичних зображень засобами Dataflow, уніфіковане середовище тренування й моніторингу моделей у Vertex AI, мікросервісну оркестрацію на базі Kubernetes, а також впровадження практик MLOps та методів пояснюваного штучного інтелекту (XAI). Запропонований підхід дає змогу скоротити час аналізу рентгенівських знімків та підвищити точність діагностичних рішень, а отримані результати можуть слугувати методологічною основою для розробки інтелектуальних систем медичної діагностики та подальших досліджень у напрямі мультимодальних моделей і федеративного навчання.

Список використаних джерел

1. Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A., et al. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis, 42, 60–88. https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005.

2. Cardoso, M. J., Li, W., Brown, R., Ma, N., et al. (2022). MONAI: A comprehensive framework for deep learning in healthcare imaging. arXiv preprint, arXiv:2211.02701. https://arxiv.org/abs/2211.02701.

3. Newman, S. (2021). Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems (2nd ed.). O'Reilly Media.

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ РОЗМІРНОСТІ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕКОРЕГОВАНОЇ ГОСТРОТИ ЗОРУ

Нагорний Роман Олегович
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, nahorniy.r@gmail.com
Мацуга Ольга Миколаївна
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій, кандидат технічних наук, доцент, olga.matsuga@gmail.com

DIMENSIONALITY REDUCTION METHODS IN BUILDING MODELS FOR UNCORRECTED VISUAL ACUITY ESTIMATION

Nahorniy Roman Olehovych
Oles Honchar Dnipro National University, Bachelor's Student, nahorniy.r@gmail.com
Matsuga Olga Mykolaivna
Oles Honchar Dnipro National University, Associate Professor at the Department of Software Engineering and Information Technologies, PhD, olga.matsuga@gmail.com

The study presents a comparative analysis of feature extraction and feature selection methods for building machine learning models to estimate uncorrected visual acuity. Three approaches were compared: Principal Component Analysis, Recursive Feature Elimination with Cross-Validation (RFECV), and stability-based feature selection using Random Forest feature importances. The RFECV and stability-based approaches achieved the best performance, reducing the feature space from 136 to 5–8 features.

Keywords: machine learning, feature selection, stability selection, random forest, visual acuity, Python.

Застосування методів машинного навчання до реальних

датасетів часто ускладнюється високою розмірністю та мультиколінеарністю ознак, що підвищує ризик перенавчання моделей. Це особливо характерно для медичних датасетів, де результати апаратних обстежень часто містять значну кількість взаємопов'язаних параметрів. У роботі використано медичний датасет із 136 ознаками для 400 очей (200 пацієнтів) [1]. Метою роботи є порівняльний аналіз методів зменшення розмірності й відбору ознак при побудові моделі машинного навчання для оцінювання некорегованої гостроти зору за анатомічними параметрами ока.

Як моделі розглядалися випадковий ліс (Random Forest Regressor) та лінійна багатовимірна регресія з регуляризацією ElasticNet. Для зниження розмірності досліджено три методи [2]:

1) метод головних компонент (Principal Component Analysis, PCA);

2) рекурсивне виключення ознак із крос-валідацією (RFECV);

3) стабільний відбір ознак на основі важливостей ознак у моделі Random Forest.

Для навчання й оцінювання моделей, а також зниження розмірності застосовано мову програмування Python і бібліотеки pandas та scikit-learn. Розбиття даних здійснювалося на рівні пацієнтів, а не окремих очей, що дозволило уникнути витоку даних між навчально, валідаційною та тестовою вибірками.

На першому етапі було побудовано моделі на повному наборі з 136 ознак. Отримані результати підтвердили схильність моделей до перенавчання. Так, модель Random Forest продемонструвала на тренувальній вибірці коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.893$, тоді як на тестовій вибірці показник знижувався до $R^2 = 0.584$. Використання лінійної моделі з регуляризацією ElasticNet виявилося неефективним ($R^2 = 0.278$ на тестовій вибірці), що свідчить про нелінійний характер залежності між анатомічними параметрами ока та некорегованою гостротою зору.

Далі було досліджено PCA, що належить до методів лінійного проекційного зниження розмірності. Аналіз залежності

точності моделей від кількості компонент показав, що найкращі результати досягалися при використанні 9–18 головних компонент. Однак загальна якість виявилася найнижчою з-поміж досліджених підходів: Random Forest на основі 9 компонент показав $R^2 = 0.345$ на тестовій вибірці. Низька ефективність PCA може пояснюватися тим, що метод максимізує загальну дисперсію ознак без урахування цільової ознаки, через що важливі для оцінювання гостроти зору параметри можуть втрачатися. Більше того, використання PCA призвело до втрати інтерпретованості ознак, що є важливим для медичних систем.

Другим дослідженим методом стало RFECV. Як базовий оцінювач використовувався алгоритм Random Forest. У процесі рекурсивного виключення ознак спостерігалося поступове підвищення якості моделі, що свідчить про наявність надлишкових і малоінформативних параметрів у початковому просторі ознак. Найкращі результати було досягнуто при використанні п’яти ознак. Побудована модель Random Forest продемонструвала коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.614$ на тестовій вибірці.

Останній досліджений метод базувався на стабільному відборі ознак із використанням важливостей, визначених моделлю Random Forest. Метод передбачав багаторазове випадкове розбиття тренувальної вибірки, подальше навчання моделі Random Forest та відбір найбільш значущих ознак за значеннями їх важливостей. Для кожної зі 136 ознак обчислювався рейтинг стабільності (відсоток потрапляння до множини 15 найважливіших ознак). До фінального набору було включено ознаки із рейтингом стабільності понад 80%. Таких ознак виявилося 8. Навчання моделі Random Forest на відібраному наборі ознак продемонструвало трохи кращі результати, у порівнянні з RFECV: $R^2 = 0.628$ на тестовій вибірці. Проте до стабільного набору ознак увійшло 8 показників, тоді як RFECV відібрав лише 5, що спрощує процес оцінювання.

Проведене дослідження підтвердило важливість попереднього зниження розмірності при побудові моделей машинного навчання для багатовимірних медичних даних.

Отримані результати свідчать, що для даного датасету лінійні проекційні методи, зокрема PCA, виявилися менш ефективними порівняно з підходами, заснованими на важливості окремих ознак, а використання лінійних моделей не дало задовільних результатів через нелінійність у даних. Найкращі результати продемонстрували RFECV та стабільний відбір ознак за важливостями, визначеними моделлю Random Forest. Кількість ознак вдалося скоротити зі 136 до 5–8, що супроводжувалося зниженням рівня перенавчання та покращенням якості моделі на тестових даних за коефіцієнтом детермінації. Крім того, зменшення кількості ознак потенційно спрощує практичне застосування моделі та може знизити обсяг необхідних обстежень.

Список використаних джерел

1. Drozdov, V. O., & Matsuga, O. M. (2025). Features of visual acuity in people with myopia and nosogenies. *Вісник проблем біології і медицини*. 2025. Вип. 3 (178). С. 146-163. https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-3-178-146-163.

2. Kuhn, M., & Johnson, K. (2019). *Feature Engineering and Selection: A Practical Approach for Predictive Models*. CRC Press. 300 p.

ВЕБ-ПЛАТФОРМА КЛАСИФІКАЦІЇ ТРАВМ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЯХ З ВЕРИФІКАЦІЄЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПЕРАТОРОМ

Народова Оксана Вікторівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра комп'ютерних наук, студентка, narodova.oksana@chnu.edu.ua
Угрин Дмитро Ілліч
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, доцент кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор, d.ugryn@chnu.edu.ua

WEB PLATFORM FOR INJURY CLASSIFICATION FOR USE IN EXTREME SITUATIONS WITH VERIFICATION OF RESULTS BY THE OPERATOR

Oksana Narodova
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Computer Science, student, narodova.oksana@chnu.edu.ua
Dmytro Uhryn
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Professor of the Department of Computer Science, Doctor of Technical Sciences, Professor, d.ugryn@chnu.edu.ua

The paper presents a web platform for preliminary skin injury classification using transfer learning on ViT and EfficientNet models. To address limited training data, data augmentation and human-in-the-loop operator verification are applied. The system targets emergency situations with restricted access to medical personnel.

Keywords: injury classification, transfer learning, human-in-the-loop, data augmentation, computer vision.

В умовах збройних конфліктів, природних катастроф та інших надзвичайних ситуацій своєчасна оцінка характеру травми є критично важливою для прийняття рішень щодо першої допомоги. Однак доступ до кваліфікованого медичного персоналу в таких умовах часто обмежений або неможливий, що зумовлює

потребу в інструментах, здатних надавати попередню класифікацію травм на основі візуальних даних без участі лікаря.

Окремою проблемою є дефіцит відкритих датасетів медичних зображень травм шкіри, що унеможливлює навчання моделей глибокого навчання «з нуля» без суттєвих похибок. Метою роботи є розробка підходу до побудови системи класифікації травм за зображеннями, що є ефективним в умовах обмеженого обсягу навчальних даних.

Розроблювана система побудована за мікросервісною архітектурою, компоненти якої взаємодіють через HTTP, а результати класифікації зберігаються у реляційній базі даних. Загальну архітектуру системи наведено на рис. 1.

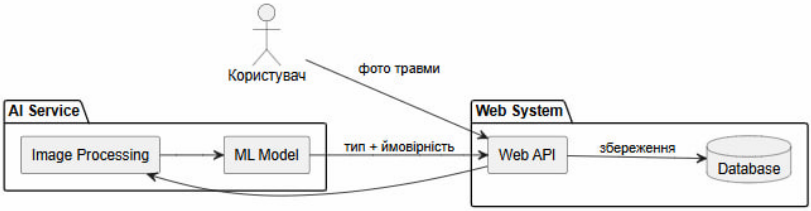


Рисунок 1. Архітектура системи класифікації травм

Система передбачає чотири ролі користувачів: гість, зареєстрований користувач, оператор-верифікатор та адміністратор (табл. 1).

Таблиця 1. Рольова модель системи

Роль	**Можливості**
Гість	Завантажує фото, отримує результат без збереження
Користувач	Зберігає історію аналізів
Оператор	Переглядає, підтверджує або виправляє результати AI
Адміністратор	Керує користувачами, переглядає статистику

Для вирішення проблеми дефіциту навчальних даних застосовано комплекс взаємодоповнюючих підходів.

По-перше, transfer learning на базі Vision Transformer (ViT) [1] та EfficientNet [2] дозволяє досягти прийнятної точності за невеликого обсягу навчальних даних, обидві моделі будуть донавчені на датасеті травм [3].

По-друге, data augmentation, повороти, зміни яскравості та масштабування, штучно розширює датасет і підвищує стійкість моделі [4].

По-третє, механізм human-in-the-loop реалізовано через роль оператора-верифікатора: верифіковані пари «зображення - мітка» зберігаються в базі даних і формують датасет для подальшого fine-tuning, забезпечуючи інкрементальне покращення якості класифікації [2]. Типовий сценарій роботи зображено на рис. 2.

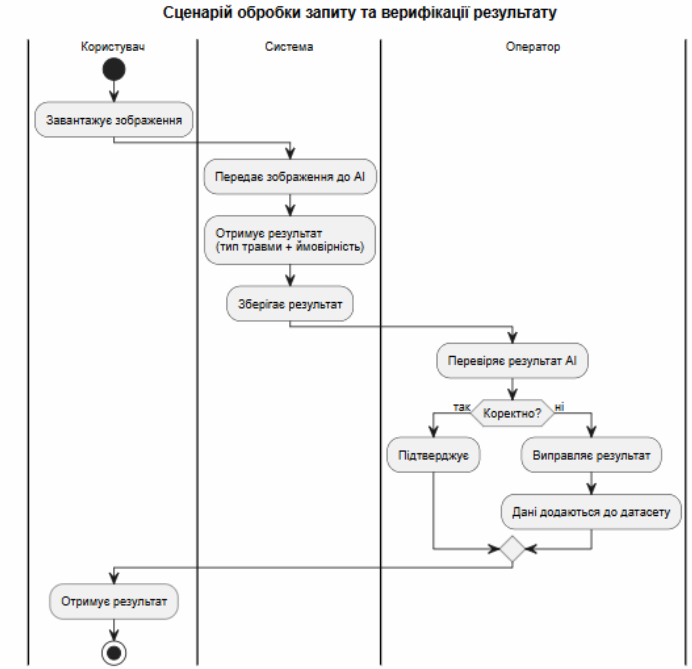


Рисунок 2. Сценарій обробки запиту та верифікації результату

Запропонована система класифікації травм шкіри орієнтована на застосування в екстремальних умовах з обмеженим доступом до медичної допомоги. Мікросервісна архітектура на базі ASP.NET Core та Python FastAPI забезпечує масштабованість і гнучкість рішення, а рольова модель з чотирьох рівнів - адаптує систему до різних сценаріїв

використання. Для подолання ключової проблеми дефіциту навчальних даних застосовано комплекс методів: transfer learning на базі ViT та EfficientNet, data augmentation та механізм human-in-the-loop, який через роль оператора-верифікатора забезпечує інкрементальне накопичення верифікованих даних і безперервне покращення якості класифікації.

Список використаних джерел

1. Rahmouni A., Sabri M. A., Ennaji A., Aarab A. Skin lesion classification based on vision transformer (ViT). *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2024. Vol. 837. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48465-0_63.

2. Anjum S. et al. Lung cancer classification in histopathology images using multiresolution EfficientNets. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2023. DOI: https://doi.org/10.1155/2023/7282944.

3. Krishna G. S. et al. LesionAid: vision transformers-based skin lesion generation and classification. *arXiv*. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2302.01104.

4. Kebaili A., Lapuyade-Lahorgue J., Ruan S. Deep learning approaches for data augmentation in medical imaging: a review. *Journal of Imaging*. 2023. Vol. 9, No. 4. DOI: https://doi.org/10.3390/jimaging9040081.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА КОНВЕЄРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Повстяна Юлія Славомирівна
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент кафедри інженерія програмного забезпечення, j.povstyana@lutsk-ntu.com.ua
Йоц Іван Васильович
Луцький національний технічний університет, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, yots.i2504.f2.25@lntu.edu.ua

AUTOMATION OF PRODUCT QUALITY ASSESSMENT IN ASSEMBLY PRODUCTION USING COMPUTER VISION

Povstiana Yulia Slavomyrivna
Lutsk National Technical University, Associate professor at the Department of Software Engineering, j.povstyana@lutsk-ntu.com.ua
Yots Ivan Vasilyovych
Lutsk National Technical University, the 2nd (master's) level of higher education applicant, yots.i2504.f2.25@lntu.edu.ua

The development of an automated product quality assessment system for assembly line production using computer vision is presented. It has been established that traditional manual inspection is usually performed selectively, when only a small number of products from a production batch are checked, and the level of defects is estimated statistically. This approach does not guarantee the detection of all defective units and depends on the human factor. Due to the integration of computer vision, in particular the detection of objects based on them, the proposed system allows for objective inspection of each unit of production in real time directly during the production process. This approach reduces the level of defects and supports optimization based on visual data in modern production environments.

Keywords: computer vision, quality control, YOLO, object

detection, conveyor manufacturing, industrial automation.

Стрімкий розвиток промислового виробництва та автоматизація технологічних процесів призводять до підвищених вимог до якості продукції та швидкості її контролю. У сучасних конвеєрних системах контроль якості залишається критичним етапом виробничого циклу, від якого залежить рівень браку, витрати компанії та задоволеність кінцевого споживача.

Найпоширенішим підходом до оцінки якості продукції є вибірковий відбір, за якого перевіряється лише частина продукції з партії, а загальний коефіцієнт браку оцінюється статистично. Такий підхід не забезпечує повного охоплення продукції та не гарантує виявлення всіх дефектних одиниць, водночас значна частина продукції залишається неперевіреною. Крім того, людський фактор, втома оператора та суб'єктивна оцінка ще більше знижують точність контролю.

В результаті, існуючі методи можуть призвести до пропуску бракованої продукції, що негативно впливає на ефективність виробництва та збільшує ризик збитків. Це створює потребу у впровадженні автоматизованих рішень, які можуть забезпечити безперервний та об'єктивний контроль кожної одиниці продукції в режимі реального часу.

Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є використання методів комп'ютерного зору для автоматичного аналізу зображень продукції безпосередньо на конвеєрній лінії. У таких системах візуальна інформація, отримана з камер, обробляється в режимі реального часу за допомогою алгоритмів глибокого навчання, що дозволяє автоматично виявляти відхилення від еталонного стану продукції [1]. Приклад застосування комп'ютерного зору для виявлення дефектів наведено на рисунку 1.

Ключовим елементом таких рішень є моделі виявлення об'єктів, які поєднують виявлення наявності об'єкта та його локалізацію на зображенні. Це дозволяє не тільки зафіксувати факт наявності продукції, але й виявляти різні типи дефектів, такі

як деформації, пошкодження поверхні або порушення цілісності продукції [1, 2].

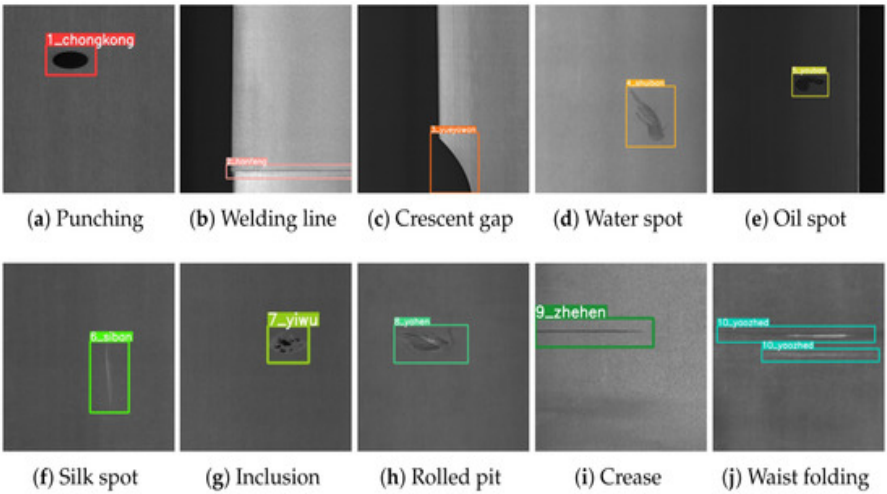


Рисунок 1. Виявлення дефектів за допомогою комп'ютерного зору на виробництві металевих деталей[3]

На рисунку показано приклад автоматичного виявлення дефектів поверхні металевих деталей за допомогою комп'ютерного зору. Система виявляє різні типи дефектів, включаючи геометричні відхилення, пошкодження поверхні та забруднення.

Запропонована система може бути реалізована як програмно-апаратний комплекс, що складається з камери, модуля обробки зображень, моделі виявлення об'єктів та блоку прийняття рішень. Камера фіксує продукт під час його руху по конвеєру, після чого зображення передається до програмного модуля, реалізованого на Python. На цьому етапі відбувається попередня обробка кадру, і зображення передається до моделі YOLO для виявлення можливих дефектів [3, 4].

Результатом моделі є набір обмежувальних прямокутників (bounding boxes) (рис. 2) з відповідними класами дефектів та

значеннями довіри (confidence score). На основі отриманих даних приймається рішення про якість продукції. У разі виявлення дефекту, значення довіри якого перевищує заданий поріг, система класифікує продукцію як дефектну.

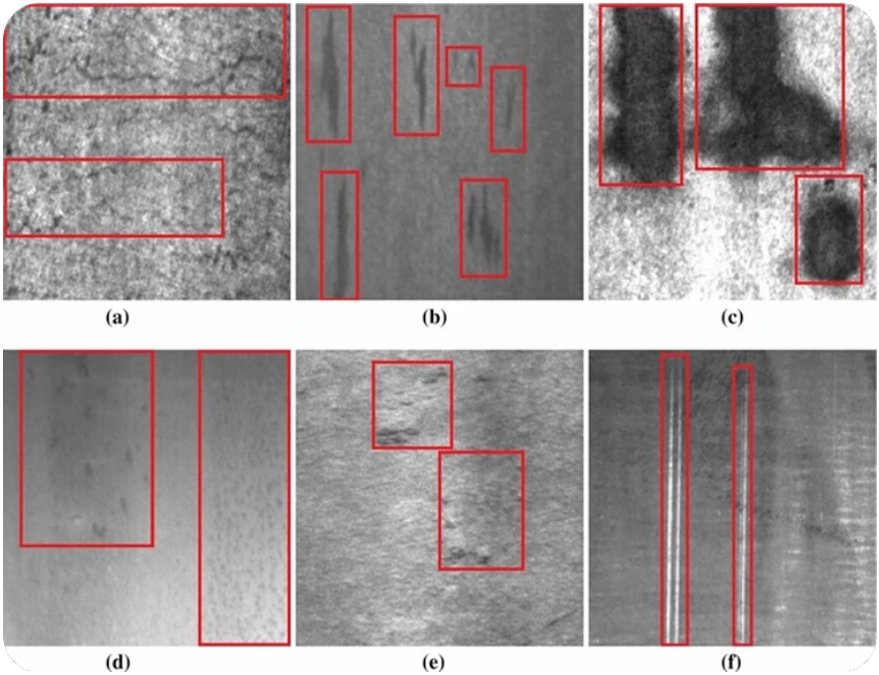


Рисунок 2. Виявлення та локалізація дефектів із використанням bounding boxes [3]

Якщо результат обробки може бути переданий виконавчому модулю через промислові протоколи обміну даними (наприклад, Modbus TCP). З урахуванням швидкості конвеєра розраховується момент подачі сигналу на виконавчий механізм (пневматичний штовхач або інший пристрій відбраковування), що дозволяє фізично відокремити дефектну продукцію від основного потоку.

Паралельно система може надавати результат аналізу в бази даних для подальшої обробки, включаючи зображення дефектів, типи відхилень та статистику дефектів. Це забезпечує можливість

подальшого аналізу виробничого процесу, виявлення закономірностей виявлених дефектів та оптимізації технологічних параметрів [5].

Зібрана статистика може бути використана для подальшого аналізу виробничого процесу, зокрема для визначення частоти виникнення певних видів дефектів та виявлення можливих причин їх виникнення.

Інформація може бути використана керівництвом для прийняття рішень щодо оптимізації виробництва, налаштування обладнання та вдосконалення процесів. В даній реалізації система виконує не лише функцію контролю якості, але й виступає аргументом для підтримки рішень.

З економічної точки зору, впровадження такої системи є доцільним завдяки використанню доступних апаратних та програмних компонентів. Сучасні моделі комп'ютерного зору, зокрема YOLO, мають відкриту реалізацію та можуть бути розгорнуті на стандартному обчислювальному обладнанні без необхідності спеціалізованих дорогих рішень. Це знижує поріг входу для впровадження автоматизованих систем контролю якості навіть для середніх підприємств.

Додатковою перевагою є відносно короткий час створення мінімально життєздатної версії (MVP) системи. Маючи базовий набір даних про зображення продукту, прототип можна впровадити за короткий час, включаючи навчання моделі, інтеграцію камери та базову логіку прийняття рішень. Це дозволяє швидко перевірити ефективність підходу в реальних виробничих умовах без значних початкових інвестицій.

Таким чином, ефект від впровадження системи проявляється у зниженні витрат, пов'язаних з дефектами, зменшенні навантаження на персонал та підвищенні стабільності якості продукції. Крім того, накопичення даних про дефекти відкриває можливості для подальшої оптимізації виробничих процесів та прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. Surface defect inspection of industrial products with object detection deep networks: a systematic review - Artificial Intelligence Review. SpringerLink. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-10956-3 (дата звернення: 25.04.2026).

2. Frontiers | A defect detection method for industrial aluminum sheet surface based on improved YOLOv8 algorithm / L. Wang та ін. Frontiers. URL: https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2024.1419998/full (дата звернення: 25.04.2026).

3. Vina A. Enhancing defect detection on production lines with vision AI. Ultralytics | Revolutionizing the World of Computer Vision. URL: https://www.ultralytics.com/blog/how-vision-ai-enhances-defect-detection-on-production-lines (дата звернення: 27.04.2026).

4. Yanli Z., Zhanfang Z. MPA-YOLO: Steel surface defect detection based on improved YOLOv8 framework. sciencedirect. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320325005576 (дата звернення: 27.04.2026).

5. Research on a metal surface defect detection algorithm based on DSL-YOLO / W. Zhiwen та ін. mdpi. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/24/19/6268 (дата звернення: 29.04.2026).

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО СИНТЕЗУ МОВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНКЛЮЗИВНОСТІ НАСТІЛЬНИХ ІГОР

Подоляк Володимир Миколайович
Луцький національний технічний університет, к.т.н., доцент, доцент кафедри туризму та гостинності,
v.podoliak@lutsk-ntu.com.ua
Тарасюк Людмила Михайлівна
Академія рекреаційних технологій і права, старший викладач кафедри документознавства та інформаційної діяльності,
ludamt@gmail.com

THE USE OF COMPUTER VISION AND NEURAL NETWORK SPEECH SYNTHESIS TO ENSURE INCLUSIVITY IN BOARD GAMES

Volodymyr Podoliak
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor,
v.podoliak@lutsk-ntu.com.ua
Ludmyla Tarasiuk
Academy of Recreational Technologies and Law, Senior Lecturer in the Department of Documentation and Information Science,
ludamt@gmail.com

This paper presents an intelligent computer vision and audio support system designed to ensure the inclusivity of board games, specifically checkers, for visually impaired individuals. The proposed multithreaded architecture integrates image processing algorithms for real-time board state recognition and a neural network-based Text-to-Speech (TTS) module (VITS) for instantaneous voice feedback. Experimental results demonstrate high classification accuracy (F1-score of 0.95) and minimal latency in audio generation, proving the system's effectiveness as an automated, inclusive game assistant capable of replacing traditional tactile boards.

Keywords: computer vision, inclusive design, visually impaired, text-to-speech, VITS, board games, artificial intelligence.

Проблема забезпечення рівного доступу до інформаційних, освітніх та розважальних ресурсів для осіб з порушеннями зору залишається одним із найважливіших викликів сучасного інклюзивного суспільства. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі налічується понад 2,2 мільярда людей, які мають ті чи інші порушення зору [1]. Значна частина цифрових інтерфейсів та традиційних настільних ігор орієнтована виключно на візуальне сприйняття, що створює штучні бар'єри для незрячих людей.

Гра в шашки є класичним інструментом розвитку логічного мислення та соціалізації. Традиційний підхід до адаптації цієї гри для людей з вадами зору полягає у використанні тактильних дошок із рельєфними клітинками та фігурами різної форми. Проте, як зазначають дослідники у сфері інклюзивних ігрових адаптацій [2], такі рішення вимагають безпосереднього фізичного контакту, уповільнюють динаміку гри, ускладнюють процес спільної гри зі зрячими партнерами та повністю унеможливлюють участь в онлайн-турнірах. Спеціалізовані аудіоігри вирішують проблему цифрової доступності, але є ізольованими продуктами, що не дозволяють взаємодіяти зі звичайними ігровими платформами.

Отже, актуальним науковим завданням є розробка універсальної системи, яка здатна автоматично розпізнавати стан ігрового поля за допомогою комп'ютерного зору та озвучувати події в реальному часі за допомогою нейромережевого синтезу мовлення.

Метою дослідження є розробка архітектури та програмна реалізація системи інтелектуального аудіосупроводу гри в шашки, яка в реальному часі аналізує відеопотік з екрана, відстежує зміни позицій фігур та генерує контекстні голосові коментарі українською мовою для забезпечення повної інклюзивності ігрового процесу.

Методологія та архітектура системи Для досягнення поставленої мети було спроєктовано багатопотоковий додаток, який складається з трьох незалежних модулів: модуля комп'ютерного зору, логічного модуля відстеження ходів та

модуля потокового синтезу мовлення.

Модуль комп'ютерного зору базується на класичних алгоритмах обробки зображень. На першому етапі кольорове зображення перетворюється у градації сірого, після чого до нього застосовується просторове згладжування за допомогою фільтра Гаусса для мінімізації цифрового шуму. Далі використовується алгоритм Кенні для детекції країв: система обчислює градієнти інтенсивності пікселів, застосовує пригнічення немаксимумів для витончення контурів та проводить подвійне порогове відсікання. Знайдені контури апроксимуються до багатокутників; система ідентифікує ігрову дошку за наявності чотирикутника, площа та пропорції сторін якого відповідають заданим критеріям. Знайдена область нормалізується до фіксованого розміру.

Сегментація ігрових фігур здійснюється на основі аналізу інтенсивності пікселів. Оскільки в шашках гра ведеться лише на темних клітинках, алгоритм розбиває дошку на сітку та аналізує лише релевантні поля. Для кожної клітинки розраховується усереднене значення яскравості. На основі емпірично підібраних порогів система класифікує вміст клітинки як "білу фігуру", "чорну фігуру" або "порожнє поле".

Логічний модуль працює за принципом порівняння дискретних станів. Система зберігає попереднє розташування фігур та порівнює його з поточним. Шляхом знаходження різниці між цими двома множинами, алгоритм ідентифікує зниклі та нові фігури. Аналіз різниці між початковим та кінцевим номерами клітинок дозволяє системі класифікувати тип події: звичайний хід або взяття фігури суперника.

Модуль синтезу мовлення відповідає за миттєве озвучування згенерованих текстових повідомлень. Для забезпечення природного звучання українською мовою без мережевих затримок було використано нейромережеву архітектуру VITS (Variational Inference with adversarial learning for end-to-end Text-to-Speech) [3]. На відміну від старих систем, ця архітектура є наскрізною (end-to-end) і генерує готову звукову хвилю безпосередньо з тексту, минаючи етап створення проміжних спектрограм. Це дозволяє генерувати аудіо в

реальному часі безпосередньо в оперативній пам'яті, що критично важливо для динаміки гри.

Тестування розробленого прототипу проводилося на базі симулятора онлайн-шашок у фіксованому вікні браузера. Обчислення виконувалися на комп'ютері з процесором середнього класу та графічним прискорювачем для підтримки паралельних обчислень моделі VITS.

Результати тестування продемонстрували високу надійність системи у стандартних умовах освітлення. Загальна точність класифікації ігрових фігур, оцінена за метрикою F1-score, склала 0.95. Середній час захвату та обробки одного кадру модулем комп'ютерного зору становив 0.15 секунди, а затримка генерації голосового коментаря не перевищувала 0.8 секунди. Система також пройшла стрес-тестування: при штучному додаванні цифрового шуму до зображення точність розпізнавання тимчасово знижувалася, проте завдяки логічному модулю система успішно відновлювала відстеження станів протягом кількох наступних кадрів.

Водночас було виявлено певні обмеження класичного підходу. Похибки розпізнавання здебільшого виникали через візуальні перешкоди, такі як курсор миші на ігровому полі або динамічна підсвітка останнього ходу. Крім того, поточний алгоритм, що базується виключно на аналізі середньої яскравості, не здатний ефективно розрізняти звичайні шашки та "дамки", оскільки останні часто відрізняються лише внутрішнім візерунком.

Запропонована інтелектуальна система доводить принципову можливість створення ефективних, повністю автоматизованих асистентів для настільних ігор, які здатні замінити фізичні тактильні дошки. Розпаралелювання процесів візуального аналізу та нейромережевого синтезу мовлення забезпечує безперебійну роботу в реальному часі.

У перспективі для подолання існуючих обмежень (зокрема, розпізнавання "дамок" та стійкості до візуальних перешкод) планується заміна порогового методу сегментації на сучасні алгоритми глибокого навчання для детекції об'єктів, зокрема

архітектури сімейства YOLO [4]. Це дозволить ідентифікувати ігрові об'єкти за їх складними візуальними ознаками незалежно від фонового шуму.

Список використаних джерел

1. World Health Organization (WHO). Blindness and vision impairment. Fact sheet. 2023. URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment

2. Thevin L., Briant C., Brock A. M. Inclusive adaptation of existing board games for gamers with and without visual impairments using a spatial augmented reality framework for touch detection and audio feedback. Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '21). 2021. P. 1–16.

3. Kim J., Kong J., Son J. Conditional Variational Autoencoder with Adversarial Learning for End-to-End Text-to-Speech. Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML). 2021. P. 5530–5540.

4. Jiao L., Zhang F., Liu F., Yang S., Li L., Feng Z., Qu R. A Survey of Deep Learning-Based Object Detection. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 128837–128868.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Рудніченко Микола Дмитрович
Національний університет «Одеська політехніка», к.т.н., доцент кафедри ІТ, nickolay.rud@gmail.com
Шибаєва Наталя Олегівна
Національний університет «Одеська політехніка», к.т.н., доцент кафедри ІТ, denscreamer@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF INTELLECTUAL AGENTS METHODS FOR OBJECT RECOGNITION IN HYDROACOUSTIC SYSTEMS

Mykola Dmytrovich Rudnichenko
Odesa Polytechnic National University, Ph.D., Associate Professor of the IT Department, nickolay.rud@gmail.com
Natalya Olegivna Shibaeva
Odesa Polytechnic National University, Ph.D., Associate Professor of the IT Department, denscreamer@gmail.com

This paper analyzes and compares modern intelligent agent approaches for underwater acoustic object recognition, highlighting their advantages and limitations in complex environments. The results demonstrate that hybrid and deep learning-based methods provide the best balance between accuracy, robustness, and adaptability.

Keywords: underwater acoustics, intelligent agents, object recognition, deep learning.

У сучасних умовах інтенсивного розвитку морських інформаційних технологій особливого значення набуває задача автоматизованого розпізнавання об'єктів у гідроакустичних системах, що обумовлено як зростанням потреб у безпілотних підводних платформах, так і необхідністю підвищення точності моніторингу морського середовища.

Традиційні підходи до аналізу гідроакустичних сигналів, що базуються на фізичних моделях поширення звуку та ручному

виділенні ознак, демонструють обмежену ефективність у складних умовах шумів, реверберації та багатошляхового поширення сигналів.

Саме тому актуалізується застосування методів інтелектуальних агентів, які здатні здійснювати адаптивну обробку даних, самонавчання та прийняття рішень у невизначених середовищах.

У межах сучасної наукової парадигми інтелектуальні агенти в гідроакустичних системах розглядаються як автономні або напівавтономні обчислювальні сутності, що інтегрують алгоритми машинного навчання, обробки сигналів та теорії прийняття рішень.

Їх застосування дозволяє перейти від статичних моделей до динамічних адаптивних систем, здатних враховувати змінність середовища та неповноту даних. Згідно з сучасними дослідженнями, інтеграція штучного інтелекту в задачі гідроакустичного розпізнавання суттєво підвищує точність і швидкість класифікації порівняно з класичними методами [1].

Порівняльний аналіз методів інтелектуальних агентів доцільно здійснювати у розрізі трьох ключових підходів, що сформувалися в останні роки. Першу групу становлять методи класичного машинного навчання, зокрема підтримувальні векторні машини, дерева рішень та ансамблеві алгоритми. Їх основною перевагою є відносна простота реалізації та інтерпретованість результатів, однак вони значною мірою залежать від якості попереднього виділення ознак. У гідроакустичних системах це є суттєвим обмеженням, оскільки акустичні сигнали характеризуються високою варіативністю та низьким співвідношенням сигнал/шум [2].

Другу групу складають глибокі нейронні мережі, які виступають основою сучасних інтелектуальних агентів. До них належать згорткові нейронні мережі, рекурентні архітектури та трансформери. Їх ключовою перевагою є здатність автоматично виділяти релевантні ознаки без необхідності ручної інженерії. Дослідження демонструють, що такі моделі значно перевищують класичні підходи за точністю розпізнавання об’єктів у

гідроакустичних даних, особливо в умовах складних шумових впливів . Наприклад, сучасні моделі з багаторівневою агрегацією ознак дозволяють ефективно враховувати як локальні, так і глобальні характеристики сигналу, що підвищує якість детекції.

Окремий напрям формують мультизадачні та гібридні моделі інтелектуальних агентів, які поєднують класифікацію, регресію та виявлення аномалій у межах єдиної архітектури. Такі підходи дозволяють одночасно оцінювати параметри об’єкта та його тип, що є критично важливим для практичних застосувань. Відповідні дослідження показують, що мультизадачне навчання сприяє підвищенню узагальнюючої здатності моделей та зменшенню впливу обмеженості навчальних вибірок [3].

Третю групу становлять інтелектуальні агенти, що базуються на фізично-інформованих нейронних мережах та методах підкріплювального навчання. Такі підходи інтегрують апріорні знання про фізику акустичних процесів у структуру моделі, що дозволяє зменшити потребу у великих обсягах навчальних даних та підвищити інтерпретованість результатів. Зокрема, фізично-інформовані моделі демонструють високу ефективність у задачах прогнозування акустичного поля та локалізації джерел звуку [1].

Порівняльний аналіз зазначених підходів свідчить про наявність компромісу між точністю, обчислювальною складністю та здатністю до узагальнення. Класичні методи характеризуються низькими обчислювальними витратами, проте поступаються у точності.

Глибокі нейронні мережі забезпечують найкращі результати розпізнавання, однак потребують значних ресурсів та великих обсягів даних.

Гібридні та фізично-інформовані моделі займають проміжне положення, поєднуючи високу точність із покращеною стійкістю до змін середовища.

Важливим аспектом є також проблема якості вхідних даних. Гідроакустичні сигнали піддаються впливу численних перешкод, зокрема шумів, реверберації та спотворень, що суттєво ускладнює процес розпізнавання.

Сучасні дослідження підкреслюють необхідність використання методів попередньої обробки та денойзингу, включаючи нейронні мережі типу U-Net та генеративні моделі, що дозволяють покращити якість сигналів і, відповідно, результати класифікації.

Додатковим викликом є обмеженість навчальних вибірок, що є характерною для гідроакустичних систем. У цьому контексті перспективними є методи few-shot learning та перенесення навчання, які дозволяють ефективно використовувати невеликі обсяги даних.

Відповідні підходи демонструють високі показники точності навіть за умов обмеженої кількості прикладів, що відкриває нові можливості для практичного застосування інтелектуальних агентів.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що найбільш перспективним напрямом розвитку є інтеграція різних підходів у межах єдиних інтелектуальних систем, що поєднують переваги глибокого навчання, фізичних моделей та адаптивних алгоритмів прийняття рішень.

Такий синергетичний підхід дозволяє підвищити точність, стійкість та ефективність гідроакустичних систем розпізнавання об’єктів, що є критично важливим для сучасних морських застосувань.

Список використаних джерел

1. Smith, J., & Brown, T. (2024). Artificial Intelligence-Based Underwater Acoustic Target Recognition: A Survey. Remote Sensing, 16(17), 3333. https://doi.org/10.3390/rs16173333.

2. Tang, J., Gao, W., Ma, E., Sun, X., & Ma, J. (2024). Deep Learning Based Underwater Acoustic Target Recognition: Introduce a Recent Temporal 2D Modeling Method. Sensors, 24(5), 1633. https://doi.org/10.3390/s24051633.

3. Wang, Z., Guo, J., Zhang, S., & Zhang, Y. (2025). Sonar-based object detection for autonomous underwater vehicles in marine environments. Frontiers in Marine Science, 12, 1539371. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1539371.

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА: ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЛАТФОРМА E-WATER В УКРАЇНІ

Смирнова Софія Олександрівна
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
студентка, sofiiasmyrnovawork@gmail.com

DIGITALIZATION OF WATER ENVIRONMENT PROTECTION: IOT TECHNOLOGIES AND THE E-WATER PLATFORM IN UKRAINE

Smyrnova Sofiia Oleksandrivna
Oles Honchar Dnipro National University, student,
sofiiasmyrnovawork@gmail.com

The paper examines modern approaches to the digitalization of water environment protection using IoT devices and information systems. The functional capabilities of the e-Water platform as a tool for remote monitoring of Ukraine's water resources are analyzed. *Keywords: water environment, IoT, e-Water, monitoring, digitalization, ecology.*

Охорона водного середовища постає дуже важливим питанням у сучасній спільноті екологів та екоактивістів. У зв'язку із сильним забрудненням планети ситуація зі станом природи стрімко погіршується. Через це змінився стан світового океану, і протягом останніх кількох сотень років доступ до питної води став значно ускладненим. Більшість людей у віддалених регіонах Південної та Центральної Африки не мають доступу ані до чистої, ані до забрудненої води, оскільки інфраструктурні комунікації не здатні витримати навантаження та провести воду до будинків або населених пунктів. Наразі така проблема набула великих географічних масштабів, і водне середовище потребує посиленої охорони та контролю не лише на материках із сухим кліматом, а й в Україні.

Для охорони водного середовища в різних країнах Європейського Союзу використовують цифровізовані системи для водоочисних апаратів та контролю великих водонапірних станцій. Таку практику активно використовує і Україна [1].

Цифровізація систем контролю якості води дозволяє впроваджувати нові сенсорні мережі, що спрощують перевірку якості як побутової, так і питної води [2]. Нові інформатичні мережі автоматизовано й без участі людини виконують оперативний збір параметрів води та за допомогою спеціальних датчиків можуть вимірювати такі показники, як рівень pH, температуру, рівень розчиненого кисню та відхилення від норми будь-якого показника [3].

Також сучасні інформатичні системи можуть вимірювати електропровідність і мутність води; крім того, вони дозволяють отримувати дані у реальному часі, мінімізуючи ручний забір проб та прискорюючи оцінку стану води, що у випадку критичної ситуації допомагає вжити певних заходів швидше [3]. Для цього в комунікації або на станції вбудовуються IoT-пристрої — фізичні пристрої із вбудованим підключенням до інтернету, завдяки чому вони збирають дані через датчики і автоматично передають їх до бази даних науковців без їхньої постійної участі [4].

Також IoT-пристрої можуть вимірювати мутність води і в разі її забруднення або сильного відхилення від норми таких показників, як кількість шкідливих речовин або рівень кисню, здатні автоматично сигналізувати, що дозволяє людям поблизу водойми зрозуміти, що вона та прилегла територія є небезпечними [4]. Будь-яка інформатична система здатна працювати цілодобово й без локальної присутності людини на березі річки, що уможливлює оцінку якості води у віддалених лабораторіях і дозволяє переміщатися Україною, зберігаючи доступ до даних. Це вкрай важливо у воєнний час, коли немає можливості постійно перебувати біля водойм, наближених до лінії фронту [5].

Диджиталізація охорони водного середовища призвела до перенесення моніторингових можливостей у відкритий доступ в інтернеті, прикладом чого є інтернет-ресурс e-Water [6]. Це спеціалізовані термінали та застосунки для дистанційного інтелектуального керування системами очищення води, доступні для побутового та комерційного використання. Застосунок, доступний на пристроях із різним програмним забезпеченням, дозволяє налаштовувати обладнання та контролювати процес

очищення, забезпечуючи зручний моніторинг. Однією з основних характеристик e-Water є дистанційне керування та можливість коригувати налаштування очищення води через смартфон [6].

Також перевагою e-Water є зручний тип системи, що легко вбудовується в приватні будинки та житлові комплекси як для побутових потреб, так і для комерційного очищення води. Це забезпечує швидке поширення та підтримку користувачів. Такий інструмент допомагає користувачам в Україні ефективно керувати своїми системами очищення води за допомогою звичайного застосунку, що робить процес користування системою водопостачання безпечним [6].

Серед модулів e-Water є такі, як e-Monitoring, що відповідає за збір і аналіз даних з усіх лабораторних та автоматичних постів моніторингу, включно з такими фізико-хімічними показниками води, як pH, розчинений кисень, електропровідність, температура, рівень води та інші. Дані доступні в режимі реального часу [6]. Другим модулем є e-Cadastre — цифровий кадастр усіх водних об'єктів України з геопросторовою інформацією. Останній із модулів — e-Water Use, сервіс для взаємодії бізнесу та держави: видача дозвільних документів, інформація про користувачів води, забруднювачів та оперативні адміністративні послуги [7].

Ця система дозволяє владі, науковцям, підприємствам і громадськості оперативно відстежувати стан водних ресурсів та швидко реагувати на екологічні ризики [6]. Ця технологія також використовується для контролю показників таких водойм України, як річка Тиса [5]. Модулі e-Water були впроваджені навесні 2025 року і з того часу залишаються лідерами ринку серед пристроїв та технологій, що дозволяють контролювати стан води у водоймах і тим самим захищати їх, знаючи, що саме потрібно змінити в догляді за ними.

Охорона водного середовища є надзвичайно важливою через зростання рівня забруднення та ускладнення доступу до питної води. Сучасні інформатичні системи та IoT-пристрої дозволяють автоматично й у реальному часі контролювати стан водних ресурсів [3]. Це значно прискорює виявлення проблем і зменшує потребу в ручному відборі проб. В Україні впровадження

платформи e-Water сприяє ефективному моніторингу, управлінню та захисту водойм, з чого можна впевнено стверджувати, що цифровізація водного контролю є не лише необхідною умовою екологічної безпеки та сталого розвитку держави, а й активним напрямом роботи наших екологів, гідробіологів та інших науковців [1].

Список використаних джерел

1. Державне агентство водних ресурсів України. Моніторинг поверхневих вод. URL: https://www.davr.gov.ua/monitoring-poverhnevih-vod1 (дата звернення: 26.03.2026).

2. Здобицький А. та ін. Інтерактивна система моніторингу поверхневих вод технологіями IoT. Національний університет «Львівська політехніка», 2022. URL: https://science.lpnu.ua/uk/cds/vsi-vypusky/vypusk-4-nomer-1-2022/interaktyvna-systema-monitoryngu-poverhnevyh-vod-tehnologiyamy (дата звернення: 26.03.2026).

3. DusunIoT. Моніторинг якості води на основі Інтернету речей. URL: https://www.dusuniot.com/uk/blog/iot-based-water-quality-monitoring/ (дата звернення: 26.03.2026).

4. Кафедра САІТ ВНТУ. IoT-моніторинг вод. URL: https://sait.vntu.edu.ua/en/nauka/iot-monitorynh-vod/ (дата звернення: 26.03.2026).

5. Світовий центр даних. Моніторинг динаміки поверхневих вод України. URL: http://wdc.org.ua/uk/water-project (дата звернення: 26.03.2026).

6. BUVR Захід. У 2024 році запрацює нова система «Є-моніторинг». URL: https://buvrzbts.davr.gov.ua/2023/12/27/ (дата звернення: 26.03.2026).

7. Кабінет Міністрів України. Портал електронних послуг Держводагентства. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/portal-elektronnih-poslug-derzhvodagentstva-dostupnist-ta-publichnist-247 (дата звернення: 26.03.2026).

ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У МЕТРИКАХ IT-ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА БЕЗ УЧИТЕЛЯ НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЇ ISOLATION FOREST ТА АВТОКОДУВАЛЬНИКА

Смірнов Дмитро Сергійович
НУ «Одеська політехніка», студент групи АД-221, кафедра інформаційних технологій, dmitrosmirnov6@gmail.com

UNSUPERVISED ANOMALY DETECTION IN ENTERPRISE IT INFRASTRUCTURE METRICS BASED ON A COMBINATION OF ISOLATION FOREST AND AUTOENCODER

Smirnov Dmytro Serhiyovych
National University «Odessa Polytechnic», student, group AD-221, Department of Information Technologies, dmitrosmirnov6@gmail.com

The paper investigates an unsupervised anomaly detection approach for enterprise IT infrastructure metrics that combines Isolation Forest and an Autoencoder via score-level fusion. The method does not require labelled failure data and adapts to non-stationary workloads. Experimental evaluation on AIOPS Challenge and Yahoo Webscope S5 confirms reduced false positive rate while preserving high recall.

Keywords: anomaly detection, Isolation Forest, Autoencoder, IT infrastructure monitoring, unsupervised learning, score fusion.

Сучасні підприємства експлуатують гетерогенні IT-інфраструктури, що генерують десятки тисяч точок телеметрії на хвилину: метрики завантаження CPU, RAM, дискових підсистем, мережевий трафік, час відгуку сервісів та частота помилок. У таких умовах класичні підходи до моніторингу, побудовані на статичних порогах і правилах, виявляються неефективними: вони генерують значну кількість хибнопозитивних спрацювань і пропускають складні багатовимірні аномалії, які не виходять за межі окремих порогів, але свідчать про деградацію системи в

цілому. Окремою практичною проблемою є відсутність розмічених наборів даних з відомими відмовами на конкретному підприємстві, що унеможливлює пряме застосування методів навчання з учителем. Тому актуальною є задача побудови методу виявлення аномалій без учителя.

У сучасних дослідженнях для виявлення аномалій у часових рядах метрик активно застосовують ансамблеві методи на основі ізоляції об’єктів (Isolation Forest) та нейромережеві автокодувальники (Autoencoder) [1, 2]. Isolation Forest добре розпізнає глобальні точкові аномалії та масштабується на великі обсяги даних, проте має обмежену чутливість до контекстних та колективних аномалій у багатовимірних метриках. Автокодувальник, навпаки, ефективно реконструює нормальні шаблони поведінки і виявляє відхилення за помилкою реконструкції, але потребує більш ретельного підбору архітектури та чутливий до шумів у тренувальній вибірці [3]. У низці робіт показано, що поєднання цих двох сімейств моделей дає змогу компенсувати їхні взаємні обмеження. У межах дипломної роботи запропоновано конкретний механізм їх інтеграції на рівні аномальних оцінок, орієнтований на потокові метрики IT-інфраструктури.

Запропонований метод реалізує гібридне виявлення аномалій у три етапи. На першому етапі вхідний потік метрик піддається попередній обробці: формуються ковзні часові вікна довжиною 5 хв з кроком 1 хв, виконується нормалізація z-score у межах добового профілю та усунення пропусків лінійною інтерполяцією. На другому етапі паралельно обчислюються дві аномальні оцінки: оцінка Isolation Forest на основі середньої глибини ізоляції об’єкта в ансамблі з 200 дерев, та оцінка автокодувальника, що дорівнює нормалізованій помилці реконструкції MSE моделі-енкодера зі стиснутим латентним простором розмірності 8. На третьому етапі застосовується агрегація оцінок методом зваженого ранжування з ваговими коефіцієнтами, підібраними на валідаційній вибірці шляхом максимізації F1-міри на синтетично згенерованих аномаліях. Поріг ухвалення рішення обирається адаптивно за квантилем

0,995 розподілу гібридної оцінки на ковзному вікні останніх 24 год, що дозволяє системі підлаштовуватися під сезонні зміни навантаження без ручного переналаштування.

Експериментальне дослідження проведено на двох публічних наборах даних, що містять розмічені аномалії в метриках хмарних і серверних середовищ: AIOPS Challenge (середовище хмарних сервісів) та Yahoo Webscope S5 (синтетичні та реальні часові ряди). Як базові моделі обрано окремо Isolation Forest та окремо Autoencoder з ідентичними гіперпараметрами. Якість оцінювалась за метриками точності (Precision), повноти (Recall), F1-міри та частки хибнопозитивних спрацювань (FPR). Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння методів виявлення аномалій на наборах даних AIOPS Challenge і Yahoo Webscope S5

Метод	**Набір**	**Точн.**	**Повн.**	**F1**	**FPR**
Isolation Forest	AIOPS	0,86	0,82	0,84	6,1%
Autoencoder	AIOPS	0,83	0,89	0,86	7,4%
Гібридний	AIOPS	0,91	0,90	0,91	4,2%
Isolation Forest	Yahoo S5	0,82	0,79	0,80	6,8%
Autoencoder	Yahoo S5	0,80	0,85	0,82	8,0%
Гібридний	Yahoo S5	0,89	0,87	0,88	4,5%

Як видно з табл. 1, запропонований гібридний підхід забезпечує приріст F1-міри на 5–7 відсоткових пунктів порівняно з кожним із базових методів окремо та одночасно знижує частку хибнопозитивних спрацювань приблизно вдвічі — з 6,1–8,0% до 4,2–4,5%. Це відповідає скороченню кількості хибних сповіщень оператору, що є критичним показником практичної придатності системи моніторингу. Узгодженість результатів між двома

різними наборами даних підтверджує стійкість методу до зміни характеристик предметної області.

Висновки. Запропоновано метод виявлення аномалій без учителя у метриках IT-інфраструктури, який поєднує Isolation Forest та автокодувальник на рівні агрегації аномальних оцінок з адаптивним порогом за ковзним квантилем. Експериментальна апробація на двох публічних наборах даних показала підвищення F1-міри та одночасне зниження FPR, що свідчить про доцільність гібридизації. Перспективи подальшого розвитку пов'язані з інтеграцією методів пояснюваності рішень (SHAP, LIME) для підвищення довіри операторів до сповіщень системи та дослідженням онлайн-донавчання моделей в умовах концептуального дрейфу метрик.

Список використаних джерел

1. Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z.-H. (2008). Isolation forest. In Eighth IEEE International Conference on Data Mining (pp. 413–422).

2. Sakurada, M., & Yairi, T. (2014). Anomaly detection using autoencoders with nonlinear dimensionality reduction. In Proceedings of the MLSDA 2014 Workshop (pp. 4–11).

3. Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), 1–58.

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ IT-ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Смірнов Дмитро Сергійович
НУ «Одеська політехніка», студент групи АД-221, кафедра інформаційних технологій, dmitrosmirnov6@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT MONITORING AND FORECASTING SYSTEM FOR ENTERPRISE IT INFRASTRUCTURE BASED ON MACHINE LEARNING

Smirnov Dmytro Serhiyovych
National University «Odessa Polytechnic», student, group AD-221, Department of Information Technologies, dmitrosmirnov6@gmail.com

This paper presents an intelligent monitoring and forecasting system for IT infrastructure based on machine learning. The system integrates anomaly detection (Isolation Forest, Autoencoder) and predictive models (LSTM, XGBoost) in a real-time data pipeline. Experimental results confirm the hybrid approach effectiveness for early fault detection.

Keywords: IT infrastructure monitoring, machine learning, anomaly detection, LSTM, XGBoost, predictive maintenance.

Стрімкий розвиток цифрової трансформації підприємств зумовлює зростання складності корпоративних IT-інфраструктур та підвищення вимог до їхньої стійкості й доступності. Сучасні організації експлуатують розподілені гетерогенні середовища, що включають фізичні сервери, віртуальні машини, хмарні сервіси, мережеве обладнання та мікросервісні архітектури. За таких умов ручний моніторинг стану компонентів інфраструктури є нерентабельним, а реактивне усунення збоїв — недостатнім для забезпечення вимог угод про рівень обслуговування (SLA). Тому актуальним науково-прикладним завданням є розробка інтелектуальної системи, здатної в режимі реального часу

відстежувати стан компонентів IT-інфраструктури, виявляти аномалії та прогнозувати потенційні відмови до їхнього настання.

Традиційні системи моніторингу, такі як Zabbix, Nagios та Prometheus, забезпечують збір метрик і порогову сигналізацію, однак не здатні виявляти складні багатовимірні залежності між компонентами та завчасно ідентифікувати деградацію продуктивності. Протягом останніх років активно досліджуються підходи на основі машинного навчання для задач прогностичного технічного обслуговування (Predictive Maintenance) та виявлення аномалій у часових рядах [1]. Моделі класу LSTM (Long Short-Term Memory) та Transformer-архітектури демонструють високу ефективність у моделюванні нелінійних часових залежностей метрик навантаження, тоді як ансамблеві методи (Random Forest, Gradient Boosting) широко застосовуються для класифікації станів системи та оцінки ймовірності відмов [2]. Разом із тим питання побудови комплексної кінцевої системи, що інтегрує збір даних у реальному часі, автоматичне навчання моделей та адаптивне прийняття рішень у єдиному конвеєрі, залишається недостатньо дослідженим.

У рамках дипломної роботи розробляється інтелектуальна система моніторингу та прогнозування, яка реалізує багатошарову архітектуру обробки даних. На рівні збору даних агенти-колектори здійснюють неперервний збір телеметрії з вузлів інфраструктури: завантаження CPU/RAM/диску, мережевий трафік, час відгуку сервісів, частота помилок та стан черг. Зібрані потоки даних надходять до брокера повідомлень Apache Kafka, що забезпечує масштабовану передачу подій у реальному часі. Рівень обробки реалізує конвеєр попередньої обробки: нормалізацію, усунення пропусків методом інтерполяції та формування часових вікон ознак. На аналітичному рівні застосовуються два класи моделей: ізоляційний ліс (Isolation Forest) та автокодувальники (Autoencoder) для виявлення аномалій без учителя, а також моделі LSTM і XGBoost для прогнозування значень метрик та класифікації передвідмовних станів із горизонтом прогнозу від 15 хвилин до 2 годин [3].

Апробацію системи проведено на синтетичному стенді, що моделює IT-середовище підприємства середнього розміру: 12 серверних вузлів, 3 мережевих комутатори та 8 мікросервісів. Для навчання та валідації моделей використано датасети з відкритих репозиторів AIOPS Challenge та Yahoo Webscope S5. Узагальнені кількісні результати тестування розроблених моделей наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Узагальнені результати експериментального дослідження моделей

Модель	**Задача**	**Метрика**	**Значення**
Isolation Forest	Виявлення аномалій	Точність / FPR	91,3% / 4,7%
Autoencoder	Виявлення аномалій	Точність	89,6%
LSTM	Прогноз CPU (30 хв)	RMSE / MAE	3,2% / 2,1%
XGBoost	Класифікація передвідмовних станів	F1-міра	0,88
Базовий підхід (порогова сигналізація)	Своєчасне виявлення	F1-міра	0,54

Як видно з табл. 1, гібридний підхід демонструє суттєву перевагу над класичною пороговою сигналізацією: приріст F1-міри для задачі ідентифікації передвідмовних станів становить 0,34, що відповідає скороченню кількості пропущених інцидентів більш ніж удвічі. Модель Isolation Forest зберігає прийнятний рівень хибнопозитивних спрацювань (4,7%), а LSTM забезпечує точність прогнозу навантаження CPU на горизонті 30 хв з помилкою менше 4%, що є достатнім для ухвалення випереджальних експлуатаційних рішень.

Висновки. Розроблена інтелектуальна система моніторингу та прогнозування стану IT-інфраструктури поєднує методи виявлення аномалій без учителя з прогностичними моделями часових рядів у єдиному конвеєрі обробки даних у реальному

часі. Отримані результати підтверджують доцільність застосування гібридного підходу — поєднання ансамблевих методів та рекурентних нейронних мереж — для задач ранньої діагностики відмов. Практична цінність системи полягає у скороченні середнього часу виявлення інцидентів (MTTD) та переході від реактивного до проактивного управління IT-інфраструктурою підприємства. Перспективи подальшого розвитку пов'язані з інтеграцією механізмів пояснюваності (XAI) для підвищення довіри операторів до рекомендацій системи та адаптацією архітектури до хмарно-нативних середовищ.

Список використаних джерел

1. Zhao, N., Jin, P., Wang, L., et al. (2021). Automatically and adaptively identifying severe alerts for online service systems. IEEE INFOCOM, 1–10.

2. Chen, M., Zheng, A. X., Lloyd, J., Jordan, M., & Brewer, E. (2004). Failure diagnosis using decision trees. International Conference on Autonomic Computing, 36–43.

3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735–1780.

АРХІТЕКТУРА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ОСНОВІ JAVA-СЕРВІСУ

Срібний Олександр Ігорович
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, sribnyi.oleksandr@chnu.edu.ua
Газдюк Катерина Петрівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, доктор філософії, доцент, k.gazdiuk@chnu.edu.ua

ARCHITECTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM FOR MODELING THE SPREAD OF INFECTIOUS DISEASES BASED ON A JAVA SERVICE

Sribnyi Oleksandr
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, PhD student, Department of Software for Computer Systems, sribnyi.oleksandr@chnu.edu.ua
Hazdiuk Kateryna
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Head of the Department of Computer Systems Software, PhD, Associate Professor, k.gazdiuk@chnu.edu.ua

The paper presents the architecture of a multi-parametric multi-agent system for modeling the spread of infectious diseases, built according to the microservice approach. The central component is the Java-based Simulation Core Service, responsible for the creation, behavior, and interaction of agents. The proposed architecture ensures simulation scalability, support for a large number of agents, distributed data processing, and integration with machine learning analytical services.

Keywords: multi-agent system, Java, microservice architecture, epidemic modeling, machine learning, simulation.

Зростання мобільності населення, поява нових патогенів та

актуальність епідемічних викликів зумовлюють потребу у високоточних та масштабованих інструментах прогнозування динаміки інфекційних захворювань. Класичні компартментні моделі (SIR, SEIR) описують популяцію як однорідну сукупність і не враховують індивідуальної поведінки людей, просторово-часової структури контактів та адаптивних стратегій взаємодії. Тому одним із найбільш перспективних напрямів є мультиагентне моделювання, основи якого закладені у класичних роботах Епштейна Дж. М. та Акстелла Р. [1] і розвинуті у працях Переса Л., Драгічевича С. [2] та Біссета К. і співавт. [3].

У роботі представлено архітектуру багатопараметричної мультиагентної системи моделювання поширення інфекційних захворювань, побудованої за мікросервісним підходом. Центральним обчислювальним елементом системи є Java-орієнтований сервіс Simulation Core Service, який відповідає за створення агентів, їхню поведінку та взаємодію. Запропонована архітектура забезпечує масштабованість симуляцій, підтримку великої кількості агентів, розподілену обробку даних та інтеграцію з аналітичними сервісами машинного навчання.

Архітектура системи включає шість основних компонентів: Simulation Core Service, Scenario Management Service, Data Storage & Retrieval Service, Analytics & ML Service, Visualization & Dashboard Service та API Gateway. Simulation Core Service є ядром системи й містить такі підмодулі: Agent Model Layer (описує характеристики агентів — вік, стан здоров'я, рівень імунітету, мобільність, соціальні зв'язки), Infection Dynamics Engine (обчислює ймовірності інфікування стохастичними методами), Policy Module (моделює вплив карантину, соціального дистанціювання, вакцинації), Time Step Scheduler та Metrics Collector. Сервіс працює у багатопотоковому режимі з використанням Java API ForkJoinPool, а також бібліотек Akka та Project Reactor.

Scenario Management Service відповідає за підготовку вхідних параметрів симуляції — конфігурації популяції, епідеміологічних характеристик вірусу та налаштувань політик контролю. Data Storage & Retrieval Service побудовано на трьох

підсистемах: реляційна база PostgreSQL для метаданих, сховище часових рядів (TimescaleDB або ClickHouse) для метрик та об'єктне сховище (MinIO або S3) для великих масивів даних. Передача результатів симуляції здійснюється через брокер повідомлень Apache Kafka, що забезпечує асинхронну та відмовостійку взаємодію між компонентами. Analytics & ML Service виконує післясимуляційну обробку та застосовує методи машинного навчання для калібрування параметрів моделі. Visualization & Dashboard Service надає інтерактивне представлення даних на базі React і Chart.js, а API Gateway забезпечує єдину точку входу, маршрутизацію, автентифікацію та моніторинг.

Тестування симуляцій з різною кількістю агентів (100 тис., 500 тис. і 1 млн.) продемонструвало лінійне масштабування продуктивності при збільшенні кількості обчислювальних потоків (табл. 1). Завдяки використанню багатопоточності Java час симуляції скоротився у середньому на 60–80 % порівняно з послідовним виконанням.

Таблиця 1. Продуктивність симуляцій

Кількість агентів	**Кількість потоків**	**Час кроку (мс)**	**Прискорення**
100 000	1	480	1×
100 000	4	150	3,2×
500 000	8	870	4,4×
1 000 000	16	1890	5,1×

Розподіл функцій між окремими мікросервісами забезпечує модульність, гнучкість і відмовостійкість системи. Запропонована архітектура може бути розгорнута у хмарному середовищі (Docker, Kubernetes), що забезпечує балансування навантаження та горизонтальне масштабування. Інтеграція мультиагентного моделювання з методами машинного навчання дозволяє автоматично калібрувати параметри моделі за реальними статистичними даними, що підвищує точність прогнозів [4].

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні архітектури, яка об'єднує мультиагентне моделювання, машинне навчання та мікросервісну парадигму в єдину масштабовану платформу на базі Java. Запропоноване рішення може бути використане у наукових дослідженнях, освітніх програмах та практичних завданнях, пов'язаних з прогнозуванням епідемій, оцінюванням профілактичних заходів і підтримкою прийняття рішень у сфері охорони здоров'я. Подальші напрями розвитку передбачають інтеграцію реальних статистичних даних, розширення поведінкових моделей агентів та впровадження засобів візуалізації у реальному часі.

Список використаних джерел

1. Epstein J. M., Axtell R. Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

2. Perez L., Dragicevic S. An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. International Journal of Health Geographics. 2009. Vol. 8, no. 50.

3. Bisset K., Chen J., Marathe M. V. High-performance biocomputing for contagion simulation. Bioinformatics. 2014. Vol. 30, no. 10, pp. 1400–1407.

4. Vyklyuk Y., Nevinskyi D., Hazdiuk K. Continuous-discrete GeoSEIR(D) model for modelling and analysis of geo spread COVID-19. Intelligence-Based Medicine. 2024. No 10, 100155.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ КРИПТОВАЛЮТНИХ ІНВЕСТИЦІЙ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Шведов Денис Валерійович
Національний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри ІТ, studylearnerstudy@gmail.com

ARCHITECTURE OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING FINANCIAL RISKS OF CRYPTOCURRENCY INVESTMENTS BASED ON HYBRID DEEP LEARNING MODELS

Shvedov Denis Valeriyovych
Odesa Polytechnic National University, postgraduate student of the IT Department, studylearnerstudy@gmail.com

This paper presents a software architecture for a decision support system aimed at assessing financial risks in cryptocurrency investments using hybrid deep learning models. The proposed approach demonstrates improved prediction accuracy and system scalability through modular design and integration of heterogeneous data sources.

Keywords: decision support system, cryptocurrency, financial risk, deep learning.

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових фінансових інструментів та децентралізованих ринків особливої актуальності набуває проблема оцінювання ризиків криптовалютних інвестицій [1].

Висока волатильність, відсутність централізованого регулювання та значний вплив зовнішніх факторів формують складне середовище прийняття рішень, у якому традиційні фінансові моделі демонструють обмежену ефективність [2].

У цьому контексті доцільним є створення програмної системи підтримки прийняття рішень, що базується на використанні гібридних моделей глибокого навчання та

забезпечує комплексний аналіз ризиків [3].

Запропонований програмний проєкт орієнтований на розробку модульної системи, яка інтегрує джерела фінансових даних, аналітичні моделі та інтерфейси взаємодії з відповідним користувачем.

Архітектурно система реалізується як багаторівнева платформа, що включає рівень збору даних, рівень обробки та аналізу, рівень моделей машинного навчання та рівень представлення результатів.

Такий підхід забезпечує масштабованість, гнучкість і можливість інтеграції нових компонентів без суттєвої зміни загальної структури системи.

Рівень збору даних відповідає за агрегацію інформації з різнорідних джерел, включаючи біржові API, новинні потоки, соціальні мережі та блокчейн-дані.

Отримані дані проходять попередню обробку, що включає нормалізацію, очищення та синхронізацію агрегованих часових рядів.

Особлива увага приділяється узгодженню різних форматів даних та усуненню пропусків, що є критично важливим для забезпечення коректної роботи моделей.

Рівень обробки та аналізу реалізує функції формування ознак, статистичного аналізу та виявлення аномалій. У межах цього рівня застосовуються методи часових рядів, спектрального аналізу та обробки природної мови для аналізу новинного фону. Формування багатовимірного простору ознак дозволяє більш повно відобразити стан ринку та підвищити точність прогнозування.

Ключовим компонентом системи є рівень моделей, що базується на гібридних глибоких архітектурах. У запропонованому рішенні поєднуються рекурентні нейронні мережі для аналізу часових залежностей, згорткові мережі для виявлення локальних патернів та трансформерні моделі для обробки текстової інформації.

Інтеграція цих підходів у межах єдиної архітектури дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні фактори, що

впливають на ринок криптовалют. Додатково використовується механізм ансамблювання, який об'єднує результати кількох моделей для підвищення стійкості та точності прогнозів.

Рівень представлення результатів забезпечує взаємодію користувача з системою та візуалізацію різнорідних аналітичних даних.

Інтерфейс реалізується у вигляді вебзастосунку з інтерактивними панелями, що відображають рівень ризику, прогнозовану дохідність та ключові фактори впливу. Важливою функцією є можливість пояснення результатів роботи моделей, що підвищує довіру користувачів до системи.

З точки зору програмної архітектури система реалізується за принципами мікросервісної взаємодії, де кожен функціональний компонент представлений окремим сервісом. Це дозволяє забезпечити незалежне масштабування, спрощує тестування та підвищує відмовостійкість системи. Для обміну даними між сервісами використовується асинхронна взаємодія через черги повідомлень, що забезпечує високу продуктивність та стійкість до навантажень.

Важливим аспектом проєктування є визначення сценаріїв використання системи. Основний сценарій передбачає взаємодію інвестора з системою для оцінки ризиків конкретного активу. Користувач вводить параметри інвестиції, після чого система здійснює збір даних, формує ознаки та запускає моделі прогнозування. Результатом є комплексна оцінка ризику з урахуванням різних факторів.

Інший сценарій передбачає моніторинг портфеля, у межах якого система регулярно оновлює оцінки ризиків і формує рекомендації щодо ребалансування.

Послідовність взаємодії з системою включає кілька етапів, що реалізуються у вигляді логічного ланцюга обробки запиту. Спочатку відбувається ініціалізація запиту користувача та його передача до сервісу обробки. Далі система здійснює збір актуальних даних та їх підготовку.

Після цього формується вектор ознак, який передається до моделей глибокого навчання. Результати моделей агрегуються та

інтерпретуються, після чого передаються до рівня представлення. Завершальним етапом є відображення результатів користувачу у зрозумілій формі.

Особливу увагу приділено забезпеченню якості та надійності системи. Для цього реалізуються механізми валідації моделей, моніторингу їх продуктивності та автоматичного оновлення.

Використання контейнеризації та оркестрації дозволяє забезпечити стабільне функціонування системи в умовах змінного навантаження.

Узагальнюючи, можна зазначити, що запропонована програмна структура системи підтримки прийняття рішень забезпечує ефективне поєднання сучасних методів аналізу даних та глибокого навчання.

Використання гібридних моделей дозволяє підвищити точність оцінки ризиків, а модульна архітектура забезпечує гнучкість і масштабованість системи. Це створює передумови для широкого застосування розробленого рішення у сфері криптовалютних інвестицій.

Список використаних джерел

1. Ivanov, D., Sokolov, B., & Dolgui, A. (2022). Digital supply chain twins: Managing the ripple effect, resilience, and disruption risks by data-driven decision support. International Journal of Production Research, 60(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2009588

2. Krauss, C., Do, X. A., & Huck, N. (2023). Deep neural networks, gradient-boosted trees, random forests: Statistical arbitrage on the cryptocurrency market. European Journal of Operational Research, 304(2), 709–720. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.12.021

3. Chen, Y., Li, K., & Zhang, Q. (2024). Hybrid deep learning models for financial risk prediction in cryptocurrency markets. Expert Systems with Applications, 237, 121567. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121567.

ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ЯКІСНОЇ ОЦІНКИ ТА АНАЛІЗУ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ

Шведов Денис Валерійович
Національний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри ІТ, studylearnerstudy@gmail.com

OVERVIEW OF INTELLIGENT METHODS FOR QUALITATIVE ASSESSMENT AND ANALYSIS OF FINANCIAL RISKS

Shvedov Denis Valeriyovych
Odesa Polytechnic National University, postgraduate student of the IT Department, studylearnerstudy@gmail.com

This paper provides a comprehensive overview of intelligent methods for qualitative assessment and analysis of financial risks, emphasizing their capabilities in handling uncertainty and heterogeneous data. The study demonstrates that hybrid approaches combining expert knowledge and machine learning offer the most effective solutions for modern financial environments.

Keywords: financial risk, intelligent methods, qualitative analysis, machine learning.

У сучасних умовах глобалізації фінансових ринків та зростання невизначеності економічного середовища проблема якісної оцінки та аналізу фінансових ризиків набуває особливої актуальності [1].

Традиційні кількісні підходи, що базуються на статистичних моделях та історичних даних, часто не здатні повною мірою відобразити складність і динамічність фінансових процесів. У зв'язку з цим зростає роль інтелектуальних методів, які дозволяють здійснювати комплексну якісну оцінку ризиків, враховуючи як формалізовані, так і неструктуровані дані.

Якісна оцінка фінансових ризиків передбачає аналіз факторів, що не піддаються прямій кількісній інтерпретації, зокрема управлінських рішень, ринкових очікувань, інформаційного фону та поведінкових аспектів учасників ринку.

У цьому контексті інтелектуальні методи виступають як інструмент інтеграції різнорідних джерел інформації та формування узагальнених висновків щодо рівня ризику. Вони дозволяють перейти від суто математичних моделей до більш гнучких систем підтримки прийняття рішень.

Одним із ключових підходів є використання експертних систем, які базуються на формалізації знань фахівців у вигляді правил і логічних висновків. Такі системи дозволяють враховувати досвід експертів і застосовувати його для оцінки ризиків у нових ситуаціях. Вони забезпечують високу інтерпретованість результатів, однак їх ефективність залежить від повноти та актуальності бази знань. Крім того, експертні системи мають обмежену здатність до адаптації в умовах швидких змін ринку.

Іншим важливим напрямом є застосування нечіткої логіки, яка дозволяє працювати з невизначеністю та нечіткими поняттями.

Використання нечітких множин і лінгвістичних змінних дає можливість формалізувати якісні характеристики ризиків, такі як високий рівень волатильності або помірний ризик. Нечіткі системи є ефективними для інтеграції експертних оцінок і даних, однак потребують ретельного налаштування функцій належності та правил виводу [2].

Суттєвий розвиток отримали методи машинного навчання, які дозволяють автоматично виявляти закономірності в даних і прогнозувати рівень ризику.

У задачах якісної оцінки особливо важливими є методи класифікації, кластеризації та виявлення аномалій. Наприклад, алгоритми кластеризації дозволяють групувати фінансові інструменти за рівнем ризику, а методи виявлення аномалій — ідентифікувати нетипові події, що можуть свідчити про підвищення ризику.

Окрему групу становлять глибокі нейронні мережі, які здатні обробляти великі обсяги даних і враховувати складні нелінійні залежності.

У контексті якісного аналізу ризиків вони використовуються

для обробки текстової інформації, зокрема новин, аналітичних звітів і повідомлень у соціальних мережах. Застосування моделей обробки природної мови дозволяє оцінювати інформаційний фон і його вплив на фінансові ринки. Це відкриває нові можливості для своєчасного виявлення ризиків, що не відображаються у числових []показниках.

Важливим напрямом є також використання гібридних моделей, які поєднують різні інтелектуальні підходи. Наприклад, інтеграція нечіткої логіки з нейронними мережами дозволяє створювати адаптивні системи, що поєднують інтерпретованість і здатність до навчання.

Такі моделі демонструють високу ефективність у задачах оцінки ризиків, оскільки дозволяють враховувати як експертні знання, так і дані.

Особливу увагу слід приділити методам аналізу поведінкових факторів, які відіграють значну роль у формуванні фінансових ризиків. Використання інтелектуальних агентів і моделей поведінкової економіки дозволяє моделювати дії учасників ринку та оцінювати їх вплив на рівень ризику. Це є особливо актуальним у контексті високоволатильних ринків, де поведінкові аспекти можуть суттєво впливати на динаміку цін [3].

Порівняльний аналіз інтелектуальних методів показує, що кожен із них має свої переваги та обмеження. Експертні системи забезпечують високу інтерпретованість, але мають обмежену адаптивність.

Нечітка логіка ефективна для роботи з невизначеністю, однак потребує налаштування.

Методи машинного навчання та глибокого навчання демонструють високу точність, але часто є складними для інтерпретації.

Гібридні підходи дозволяють досягти балансу між цими характеристиками.

Суттєвим викликом є забезпечення якості даних, що використовуються для аналізу. Наявність шумів, пропусків і недостовірної інформації може суттєво впливати на результати оцінки ризиків. У цьому контексті важливими є методи

попередньої обробки даних, включаючи очищення, нормалізацію та інтеграцію різних джерел інформації.

Перспективним напрямом є розвиток систем підтримки прийняття рішень, які інтегрують інтелектуальні методи та забезпечують комплексний аналіз ризиків. Такі системи дозволяють автоматизувати процес оцінки та підвищити обґрунтованість управлінських рішень. Вони можуть використовуватися як у фінансових установах, так і в корпоративному секторі.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що інтелектуальні методи відіграють ключову роль у забезпеченні якісної оцінки фінансових ризиків. Їх застосування дозволяє враховувати складність і багатофакторність фінансових процесів, підвищувати точність прогнозів і забезпечувати адаптацію до змін середовища. Подальший розвиток цих методів пов'язаний із інтеграцією різних підходів, підвищенням інтерпретованості моделей та вдосконаленням методів роботи з даними.

Список використаних джерел

1. Bussmann, N., Giudici, P., Marinelli, D., & Papenbrock, J. (2021). Explainable AI in credit risk management. Computational Economics, 57(1), 203–216. https://doi.org/10.1007/s10614-020-10042-0

2. Feng, F., He, X., Wang, X., Luo, C., Liu, Y., & Chua, T.-S. (2022). Temporal relational ranking for stock prediction. ACM Transactions on Information Systems, 40(2), 1–27. https://doi.org/10.1145/3477495

3. Zhang, X., Zohren, S., & Roberts, S. (2023). Deep learning for portfolio optimization. Journal of Financial Data Science, 5(1), 8–20. https://doi.org/10.3905/jfds.2023.1.123.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ У ЛОГІСТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Шибаєва Наталя Олегівна
Національний університет «Одеська політехніка», к.т.н., доцент кафедри ІТ, denscreamer@gmail.com
Рудніченко Микола Дмитрович
Національний університет «Одеська політехніка», к.т.н., доцент кафедри ІТ, nickolay.rud@gmail.com

ANALYSIS OF MODELING METHODS OF CONTROL SENSOR SYSTEMS IN LOGISTICS TRANSPORT ECOSYSTEMS

Natalya Olegivna Shibaeva
Odesa Polytechnic National University, Ph.D., Associate Professor of the IT Department, denscreamer@gmail.com
Mykola Dmytrovich Rudnichenko
Odesa Polytechnic National University, Ph.D., Associate Professor of the IT Department, nickolay.rud@gmail.com

This paper presents a comprehensive analysis of modeling methods for sensor-based control systems in logistics transport ecosystems, focusing on their effectiveness and limitations. The study highlights the advantages of hybrid approaches that combine analytical, simulation, and machine learning techniques for real-time decision support.

Keywords: sensor systems, logistics ecosystems, intelligent transportation, modeling methods.

У сучасних умовах цифрової трансформації транспортно-логістичних систем особливого значення набуває розвиток інтелектуальних сенсорних систем управління, що забезпечують адаптивне функціонування складних логістичних екосистем. Зростання обсягів перевезень, ускладнення транспортних мереж та підвищення вимог до ефективності й надійності логістичних процесів обумовлюють необхідність використання сучасних

методів моделювання, які дозволяють адекватно відображати динаміку багатокомпонентних систем та забезпечувати підтримку прийняття рішень у режимі реального часу.

Сенсорні системи в логістичних транспортних екосистемах виконують функцію збору, обробки та передачі інформації про стан об'єктів і середовища, включаючи транспортні засоби, інфраструктуру та вантажі. Вони формують основу для реалізації концепцій інтелектуального транспорту та розумної логістики, інтегруючись із технологіями Інтернету речей, кіберфізичних систем і штучного інтелекту. У цьому контексті моделювання виступає ключовим інструментом дослідження ефективності функціонування таких систем та оптимізації їх параметрів.

Аналіз сучасних підходів до моделювання управляючих сенсорних систем дозволяє виділити кілька концептуальних напрямів, що відрізняються рівнем абстракції, математичним апаратом та сферою застосування. Перший напрям представлений аналітичними моделями, які базуються на використанні диференціальних рівнянь, теорії масового обслуговування та теорії графів. Такі моделі дозволяють отримати формалізований опис процесів передачі інформації, затримок у мережах та навантаження на сенсорні вузли. Їх перевагою є можливість отримання точних рішень у спрощених умовах, однак вони мають обмежену здатність до врахування складних нелінійних взаємодій, характерних для реальних логістичних екосистем [1].

Другий напрям охоплює імітаційне моделювання, яке є одним із найбільш поширених підходів у дослідженні транспортних систем. Використання дискретно-подійних та агентно-орієнтованих моделей дозволяє відтворювати поведінку окремих елементів системи та їх взаємодію в динамічному середовищі. Агентно-орієнтовані моделі особливо ефективні для опису поведінки автономних транспортних засобів і сенсорних вузлів, які функціонують у розподілених мережах. Вони забезпечують високу гнучкість та масштабованість, проте потребують значних обчислювальних ресурсів і ретельного налаштування параметрів.

Третій напрям пов’язаний із застосуванням методів машинного навчання та штучного інтелекту для побудови моделей сенсорних систем. У цьому випадку моделювання базується не на явному математичному описі процесів, а на навчанні моделей за даними. Використання нейронних мереж, зокрема рекурентних і трансформерних архітектур, дозволяє ефективно прогнозувати стан системи, виявляти аномалії та оптимізувати маршрути транспортування. Такі підходи демонструють високу точність і здатність до адаптації, однак їх застосування ускладнюється потребою у великих обсягах даних та проблемами інтерпретованості результатів.

Окрему увагу слід приділити гібридним методам моделювання, які поєднують аналітичні, імітаційні та інтелектуальні підходи. Такі моделі дозволяють компенсувати недоліки кожного з підходів і забезпечити більш адекватне відображення реальних процесів у логістичних екосистемах. Наприклад, аналітичні моделі можуть використовуватися для визначення базових характеристик системи, тоді як імітаційні моделі дозволяють досліджувати її поведінку в різних сценаріях, а методи машинного навчання забезпечують адаптацію до змін середовища [2].

Важливим аспектом моделювання є врахування особливостей інформаційної взаємодії між сенсорними вузлами. У сучасних логістичних системах широко застосовуються бездротові сенсорні мережі, які характеризуються обмеженими ресурсами, нестабільністю каналів зв’язку та необхідністю енергозбереження.

Це обумовлює необхідність використання спеціалізованих моделей, що враховують енергетичні обмеження, топологію мережі та протоколи передачі даних. У цьому контексті перспективними є моделі, що базуються на теорії складних мереж та стохастичних процесах.

Крім того, суттєву роль відіграє проблема забезпечення надійності та безпеки сенсорних систем. Зростання рівня автоматизації транспортних екосистем підвищує їх вразливість до кіберзагроз і збоїв. Тому сучасні методи моделювання повинні

враховувати можливість відмов елементів системи, атак на мережу та інших дестабілізуючих факторів. У цьому контексті застосовуються методи теорії надійності, стохастичного моделювання та аналізу ризиків.

Порівняльний аналіз різних методів моделювання показує, що жоден із підходів не є універсальним. Аналітичні моделі забезпечують високу точність у простих умовах, але не здатні адекватно відобразити складні системи.

Імітаційні моделі є більш гнучкими, але потребують значних ресурсів. Методи машинного навчання демонструють найкращі результати в задачах прогнозування та оптимізації, проте залежать від якості даних.

Гібридні підходи дозволяють досягти компромісу між точністю, гнучкістю та ефективністю.

Узагальнення результатів дослідження дозволяє зробити висновок, що перспективним напрямом розвитку є створення інтегрованих платформ моделювання, які поєднують різні методи та забезпечують підтримку прийняття рішень у реальному часі. Такі платформи повинні враховувати специфіку логістичних транспортних екосистем, включаючи їх масштаб, динамічність та невизначеність. Важливим завданням є також розробка методів валідації моделей, що дозволяють оцінити їх адекватність і достовірність. Це дозволяє підвищити ефективність управління транспортними процесами, зменшити витрати та забезпечити стійкість функціонування систем у складних умовах.

Список використаних джерел

1. Zhang, Y., Wang, L., & Chen, X. (2022). Modeling and optimization of intelligent transportation systems with IoT-based sensors. IEEE Internet of Things Journal, 9(14), 12345–12358. https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3145678

2. Khan, M. A., Rehman, A., & Zafar, S. (2023). Sensor-based smart logistics and transport systems: A machine learning perspective. Transportation Research Part C, 148, 104012. https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104012

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ТА МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНИХ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ З КОМП'ЮТЕРНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Ярош Максим Вадимович
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, факультет комп'ютерних наук та кібернетики, студент 1-го курсу магістратури, maximyarosh@knu.ua

ANALYSIS OF ARCHITECTURES AND METHODS FOR BUILDING AUTONOMOUS AI AGENTS TO INTERACT WITH A COMPUTER ENVIRONMENT

Maksym Yarosh
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Computer Science and Cybernetics, 1st-year master's student, maximyarosh@knu.ua

The paper analyses architectural approaches for building autonomous AI agents capable of interacting with web environments. We compare Zero-shot, ReAct, and Agentic Loop architectures. Empirical results show that the Agentic Loop with Self-Correction achieves a 78% success rate in complex UI navigation, significantly outperforming linear methods. The trade-off between reliability and latency is also evaluated.

Keywords: autonomous agents, AI, Agentic Loop, ReAct, LLM, Computer Use, self-correction.

Сучасна парадигма розвитку систем штучного інтелекту стрімко еволюціонує від статичних мовних моделей до динамічних агентних систем, здатних до самостійного виконання завдань у складних цифрових екосистемах. Ключовим викликом сьогодення є створення Computer Use Agents (CUA) – інтелектуальних посередників, які можуть взаємодіяти з будь-яким програмним забезпеченням через графічний інтерфейс користувача, подібно до людини. Актуальність дослідження зумовлена обмеженістю традиційних методів автоматизації – Robotic Process Automation. (RPA), які критично залежать від

стабільності структури коду сторінок або наявності відкритих програмних інтерфейсів [1].

В межах дослідження було протестовано три ієрархічні рівні архітектурної організації ШІ-агентів на базі моделі Claude 4.5 Sonnet: Zero-shot (без планувальника) – модель генерує дію безпосередньо на основі поточного скріншоту, ReAct + JSON Tool Calling – архітектура, що поєднує міркування моделі з викликом інструментів [2] та Agentic Loop (Self-Correction) – найбільш просунутий цикл із верифікацією стану середовища після кожної дії [3]. Експериментальна частина зосереджена на автоматизації процесу збору даних з платформ нерухомості (Otodom, OLX, DIM.RIA), що характеризується складними випадаючими списками та динамічними модальними вікнами (кукі-банерами).

Результати тестування демонструють суттєву різницю в ефективності досліджуваних підходів. Як видно з порівняльного аналізу (рис. 1), архітектура Zero-shot демонструє рівень успішного виконання сценарію (Success Rate) лише 45% при високому рівні критичних помилок (Critical Error Rate) на рівні 35%. Це пояснюється нездатністю моделі вийти з циклічних станів при зіткненні з прозорими перешкодами. Впровадження ReAct-циклу підвищило успішність до 68%, оскільки модель почала «усвідомлювати» послідовність кроків.

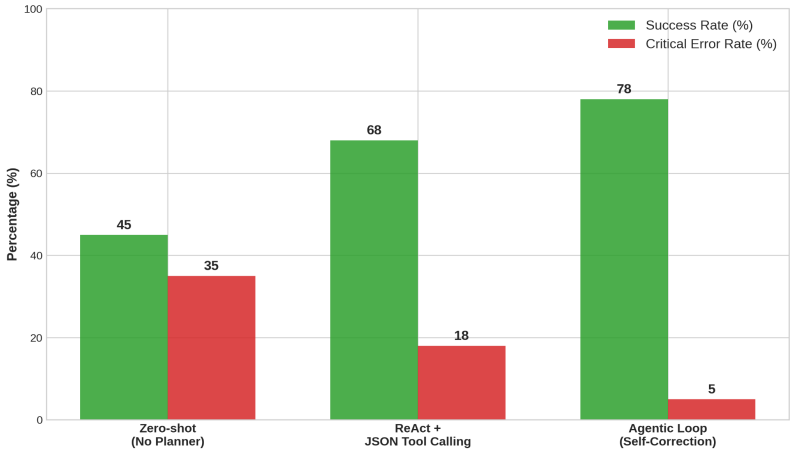


Рисунок 1. Ефективність архітектур агента: Успішність проти Критичні помилки

Найвищу ефективність продемонструвала архітектура Agentic Loop, де успішність досягла 78%, а рівень критичних помилок знизився до рекордних 5% (рис. 1). Механізм самокорекції дозволив агенту самостійно виявляти промахи та змінювати координати кліку в режимі реального часу [4].

З іншого боку, впровадження механізмів рефлексії вимагає більших обчислювальних витрат, що наочно ілюструє графік компромісу між швидкодією та надійністю (рис. 2).

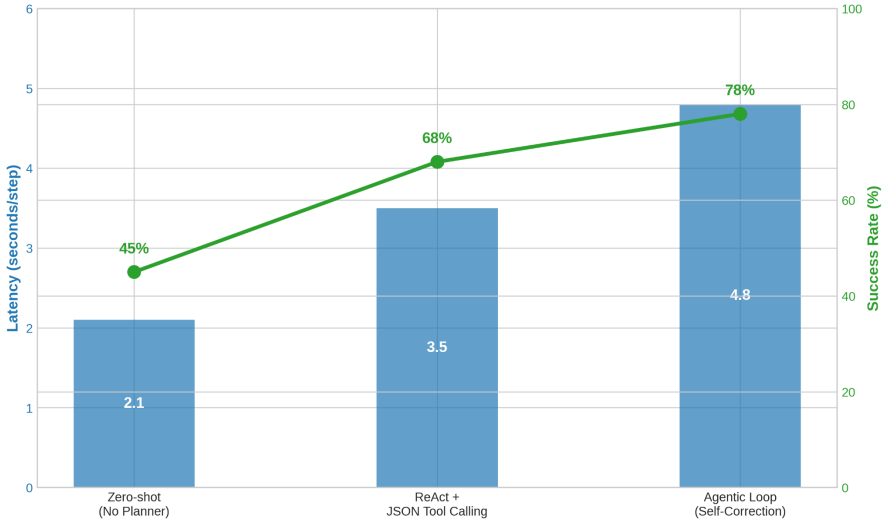


Рисунок 2. Компроміс: Швидкодія проти Успішності

Згідно з отриманими даними (рис. 2), середня затримка на один крок зростає пропорційно до складності архітектури: з 2.1 секунди у Zero-shot до 4.8 секунди в Agentic Loop. Таке зростання зумовлене необхідністю генерації додаткових токенів для аналізу поточного візуального стану екрана та порівняння його з попереднім [5]. Незважаючи на двократне збільшення часу роздумів, для бізнес-завдань транзакційного характеру, де надійність (Success Rate 78%) є абсолютним пріоритетом над швидкістю, такий компроміс є повністю виправданим та необхідним для впровадження систем у виробництво.

Висновки. Дослідження доводить, що для взаємодії зі складними динамічними веб-інтерфейсами архітектура Agentic Loop є найбільш стабільною. Критичним фактором успіху є не

стільки потужність самої LLM-моделі, скільки алгоритм обробки візуального фідбеку та здатність до самокорекції помилок просторової орієнтації (Spatial Grounding). Запропонований підхід має високу практичну значущість і може бути адаптований для автоматизації процесів у Legacy-системах, що не мають API-інтерфейсів [6].

Список використаних джерел

1. Anthropic. (2024). Developing Computer Use Capability in Claude 3.5 Sonnet. Technical Report. Retrieved from Anthropic Docs.
2. Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., & Cao, Y. (2023). ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models. arXiv preprint arXiv:2210.03629.
3. Shinn, N., Labash, B., & Gopinath, A. (2023). Reflexion: Language Agents with Iterative Self-Reflection. arXiv preprint arXiv:2303.11366.
4. Wu, Q., Bansal, G., Zhang, J., Wu, Y., Li, B., Zhu, E., ... & Wang, C. (2023). AutoGen: Enabling Next-Gen LLM Applications via Multi-Agent Conversation. arXiv preprint arXiv:2308.08155.
5. Microsoft Research. (2024). OmniParser for Screen Parsing: Enhancing LLM-based Agents. Technical Whitepaper.
6. Wang, G., Xie, Y., Jiang, Y., Mandlekar, A., Xiao, C., Zhu, Y., ... & Anandkumar, A. (2023). Voyager: An Open-Ended Embodied Agent with Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2305.16291.

HYBRID LLM ARCHITECTURES FOR RELIABLE DOMAIN-SPECIFIC MODEL COMPUTATION

Vitaliy Bozhovskiy
Lviv Polytechnic National University, Postgraduate student,
Specialized Computer Systems Dpt.,
vitalii.bozhovskyi.asp.2025@lpnu.ua
Halyna Klym
Lviv Polytechnic National University, Doctor of Technical Sciences,
Professor, Specialized Computer Systems Dpt.,
halyna.i.klym@lpnu.ua

Large language models help turn everyday wording into math-like structure, but asking a model alone for final numbers can still go wrong when real-world rules must be respected. This thesis sketches a hybrid design: the language model suggests variables and formulas, while a separate, predictable computing step does the arithmetic and checks that the chosen field's rules are respected. The flow covers the user's request, matching it to those rules, checking inputs, asking the user or external tools when something is missing, and only then producing results – so "thinking in words" and "doing the math" stay apart.

Keywords: large language models, hybrid system, domain-specific modeling, validation, deterministic execution.

Language models are increasingly used for math-like tasks and for calling external tools, but they work best when their guesses are checked by clear structure and by steps a program can repeat the same way every time [1]. Work on neurosymbolic and hybrid AI supports pairing neural parts with symbolic or rule-based parts. Building on an earlier hybrid that combined formula generation with fixed computation and ways to fill in missing data [2], this line of work stresses that the subject area – allowed quantities, units, typical relationships, and consistency checks – should be set openly at the start – not only implied by how the question is phrased.

Objective: get answers that fit the application area and can be reproduced, while the user can still speak in ordinary language, and

while “drafting the model” and “running the numbers” remain two different steps.

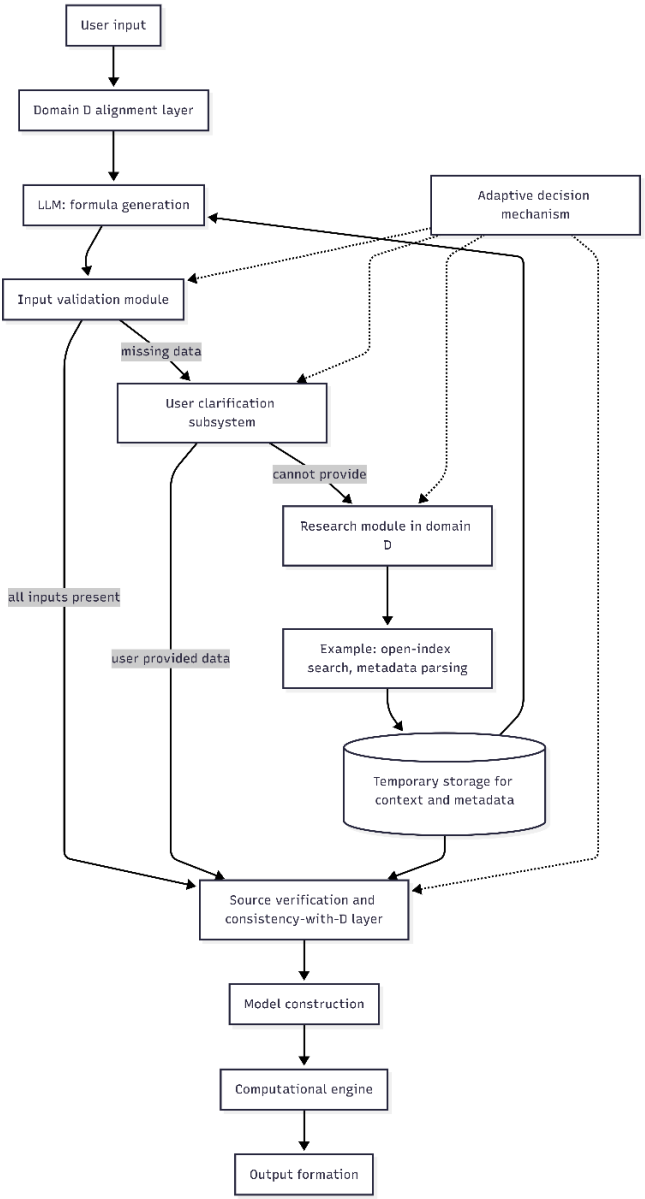


Figure 1. Overview of the hybrid system (data flow, validation,

context retrieval, deterministic computation).

In plain terms, the system takes what the user wants in natural language, the rules of the chosen application area, any extra profile or measurements, and – when needed – information from outside sources. It builds an intermediate description (variables, limits, and formulas) and checks that description against those rules. The final numbers come from the deterministic computing block, not from open-ended text generation.

Compared with the earlier design [2], this version (Fig. 1) adds a clear "match to application area" step right after the question; a researcher module tuned to that area (for example, hooking into open scholarly indexes such as OpenAlex); a place to keep retrieved metadata for a while; and an extra check on sources and contradictions before the model is frozen. Listing variables and sources plainly makes the run easier to follow and to audit.

A prototype was tried against two baselines on the same task collection: using only a language model end-to-end, and using the earlier hybrid without a dedicated application-area layer. The full pipeline generally produced more trustworthy behavior – fewer half-finished answers, fewer cases where required inputs were still missing after the allowed back-and-forth, and fewer models that quietly broke the stated field rules. Runs took longer than the lightest baseline because of validation and lookups, which is expected for an interactive tool.

References

1. Ahn, J., Verma, R., Lou, R., Liu, D., Zhang, R., Yin, W. Large language models for mathematical reasoning: Progresses and challenges. EACL Student Research Workshop, 2024. https://doi.org/10.18653/v1/2024.eacl-srw.17

2. Bozhovskiy, V., Klym, H. Methods of formalization and automated computation of mathematical models using large language models. Radioelectronics and Computer Technologies: RCT-2026 Proceedings, 2026, pp. 103-105. https://electronics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/RCT-2026-Abstracts.pdf

METHOD OF CONTROLLED IMAGE DEGRADATION FOR DETECTING ATTENTION CENTERS IN CLASSIFICATION NEURAL NETWORKS

Oleksandr Dorenskyi
Central Ukrainian National Technical University, PhD in Information Technology, Associate Professor, Cybersecurity and Software Department, dorenskyiop@kntu.kr.ua
Oleksandr Drieiev
Central Ukrainian National Technical University, PhD in Telecommunications Systems and Networks, Associate Professor, Cybersecurity and Software Department, drey.sanya@gmail.com
Hanna Drieieva
Central Ukrainian National Technical University, PhD in Computer Engineering, Associate Professor, Cybersecurity and Software Department, gannadreeva@gmail.com

The paper discusses a method of controlled image degradation for detecting attention centers in neural networks for classification tasks. A method is proposed that preserves classification logits during image degradation, using a uniform background and optimizing the 'transparency' map. This approach allows working with modern neural network architectures such as MIXER and ViT and improves training by identifying significant elements for classification.

Keywords: computer vision, attention localization, data quality.

Implementation of image classification systems in relatively low-powered computational systems often requires the use of simplified or custom-trained neural networks to meet the computational system's requirements. Additionally, the limited availability of training data with known classifications can have a significant impact. In such cases, a neural network trained on the available data may provide satisfactory results, but the features on the images, on which the network bases its classification decisions, remain unknown. The authors have conducted a study on existing methods for identifying attention centers in classification networks for specific examples, such as CAM, Grad-CAM, and similar methods. However,

most of these methods work only for convolutional neural network-based models, including CNN, MobileNET, ResNET, and VGG. The works reviewed by the authors leave open questions for more modern architectures, such as MIXER and ViT. Therefore, the authors propose a process of controlled image degradation with the preservation of the original classification logits before the softmax activation function.

The proposed controlled degradation process for the input image is based on constants: the input image, the neural network, and a uniform background derived from the input image with an average color, where the "transparency" map between the input image and the uniform background is optimized. The mixing of the input image is represented by a set of coefficients pi,j ranging from 0 to 1, which indicates how much of the original image should be taken, while (1-pi,j) represents the background. The loss function takes into account: the total sum of pi,j values; the presence of sharp transitions between neighboring pi,j, which may otherwise lead to the generation of details not present in the input image; the difference between the original classification logits of the image and the current logits resulting from the classification of the degraded image. This process is illustrated in the following figure (Fig. 1).

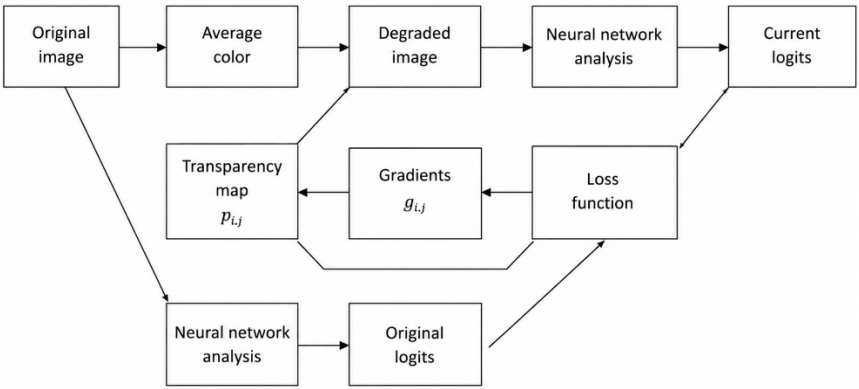
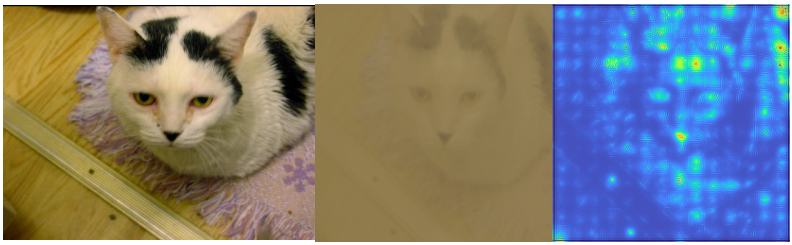


Figure 1. Diagram of Information Flow in the Image Degradation Process

Figure 2 shows the result of applying the proposed image degradation method to the ViT network.



a) *b)* *c)*

Figure 2. Result of Image Degradation for the ViT Network: a) original image, b) вegraded image with preserved classification result and network confidence level, c) Normalized 'transparency' map

As shown in the example in Figure 2, the neural network focuses on the animal's eyes and fur color. A drawback is the non-zero weight given to the floor texture. Therefore, it can be concluded that for better network training, it is necessary to diversify and balance the background in the training data.

The use of the controlled image degradation method for detecting attention centers in neural networks holds significant potential in improving the image classification process. The proposed combination of transparency map optimization and classification logits preservation allows for identifying key elements on which the network's decisions are based and works effectively with neural networks of various architectures, including modern models. Improving the quality of training data, particularly by diversifying backgrounds, is crucial as it will enhance the accuracy and stability of classification while minimizing the impact of background elements. Therefore, the proposed method can be an important tool for further research and applications in the field of computer vision and image classification.

References

1. Rama, J., Nalini, C., & Kumaravel, A. (2019). Image pre-processing: Enhance the performance of medical image classification using various data augmentation techniques. ACCENTS Transactions on Image Processing and Computer Vision, 5(14), 7-14. https://doi.org/10.19101/TIPCV.2018.413001.

2. Kattenborn, T., Schiefer, F., Frey, J., Feilhauer, H., Mahecha, M. D., & Dormann, C. F. (2022). Spatially autocorrelated training and validation samples inflate performance assessment of convolutional neural networks. ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 5, 100018. https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2022.100018.

3. Drieiev, O. M., Dorenskyi, O. P., & Drieieva, G. M. (2022). Neural network method for detecting textural anomalies in digital images. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 5(36), Part 2, 335-346. 10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.335-346.

4. Dorenskyi, O. P., Drieiev, O. M., & Mynailenko, R. M. (2023). Method for determining features on which a neural network makes classification decisions. Information Security and Computer Technologies, 55. Retrieved from https://dspace.kntu.kr.ua/items/519383c1-1857-4761-8868-ef3b9bacf292.

5. Dorenskyi, O., Drieiev, O., & Drieieva, H. (2026). The method of identifying key elements of a digital image in the decision-making process of classification by a neural network. Computer Systems and Information Technologies, (1), 145–155. https://doi.org/10.31891/csit-2026-1-14.

ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR FORECASTING TASKS

Valerii Lishchyna
Lutsk National Technical University, PhD, Associate Professor, Head of the Computer Science Department,
v.lishchyna@lutsk-ntu.com.ua
Paweł Komada
Politechnika Lubelska, Dr hab. inż., Vice-dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

The paper analyzes modern machine learning algorithms for data forecasting tasks. The features of applying linear regression, decision trees, Random Forest, and XGBoost are considered. The advantages, limitations, and application areas of these methods are analyzed. Particular attention is paid to evaluating the effectiveness of forecasting models using quality metrics. The prospects for the use of machine learning algorithms in modern information systems are determined.

Keywords: machine learning, data forecasting, data analysis, artificial intelligence, Random Forest, XGBoost, linear regression, decision trees.

The current development of digital technologies is accompanied by a rapid increase in the volume of data generated by information systems, web resources, mobile applications, and various digital services. In this context, forecasting tasks have become particularly relevant, as they enable the estimation of future indicator values, the identification of patterns, and support for the decision-making process. Machine learning algorithms are actively used to solve such tasks, providing automated data analysis and the generation of forecasts based on accumulated information.

Machine learning is one of the most promising areas of development for artificial intelligence and intelligent information systems. Its main feature lies in the ability of models to learn from data without the need for rigid programming of all rules and dependencies. Machine learning algorithms are used for analyzing structured and unstructured data, classifying objects, detecting anomalies, and

predicting numerical values.

An analysis of recent scientific publications indicates a growing interest in the use of machine learning algorithms for forecasting tasks. In recent years, researchers have focused significantly on improving forecast accuracy, reducing the impact of model overfitting, and optimizing the processing of large datasets. Particular emphasis is placed on the application of ensemble methods and gradient boosting algorithms, which demonstrate high performance in financial forecasting, time series analysis, demand forecasting, and intelligent analysis of user behavior [2].

In forecasting tasks, the choice of a machine learning algorithm depends on the data structure, the volume of information, and the requirements for the accuracy of results. For tasks with a simple linear relationship between parameters, it is advisable to use linear regression, which is characterized by high processing speed and ease of interpreting results. This method is effective for small datasets and basic forecasting tasks.

Linear regression is one of the simplest and most widely used forecasting algorithms. The method allows establishing a linear relationship between input parameters and the target variable. The main advantages of the algorithm are ease of implementation, high training speed, and the ability to interpret results. Linear regression works effectively for tasks with a simple data structure, but its accuracy decreases significantly in the presence of complex nonlinear dependencies. In modern research, this method is often used as a baseline model for comparing the effectiveness of more complex machine learning algorithms [1].

Decision trees are a more flexible machine learning method that allows modeling complex dependencies between parameters. The algorithm generates a sequence of conditions and rules used to predict values. The advantages of decision trees include the model's clear structure and the ability to work with both numerical and categorical data. At the same time, individual decision trees are prone to overfitting, which can negatively impact prediction quality.

Decision trees are best suited for tasks where it is necessary to account for complex dependencies between parameters and work with heterogeneous data. The advantage of this approach is the visual

clarity of the model's structure and the ability to analyze the decision-making logic. However, individual decision trees may exhibit unstable results when working with large datasets. Scientific studies indicate that the use of decision trees is effective for classification and forecasting tasks in decision support systems, where the interpretability of results is important.

Ensemble machine learning methods are widely used to improve the accuracy of predictions. One of the most common algorithms of this type is Random Forest, which is based on the use of a set of decision trees. During operation, the algorithm generates several independent models, the results of which are combined to produce a final prediction. This approach reduces the risk of overfitting and ensures greater model stability compared to individual decision trees. demonstrates high effectiveness in prediction tasks and the analysis of large datasets.

Ensemble methods, particularly Random Forest, are also used to improve prediction accuracy and reduce the risk of overfitting. This algorithm is effective for analyzing large datasets and tasks involving complex nonlinear relationships between parameters. Random Forest delivers consistent results and performs well in practical tasks such as forecasting demand, financial indicators, and user behavior [3].

Another modern forecasting method is gradient boosting, specifically the XGBoost algorithm. Its principle of operation involves the sequential creation of models, each of which corrects the errors of the previous one. Boosting algorithms ensure high forecasting accuracy and are widely used in big data analysis, financial forecasting, medical research, and intelligent information systems. At the same time, such models require greater computational power and careful parameter tuning [3].

In cases where maximum forecasting accuracy is required, it is advisable to use gradient boosting algorithms, specifically XGBoost. Such models demonstrate high performance when working with large datasets and complex multifactorial dependencies. Boosting algorithms are actively used in financial analytics, recommendation systems, and intelligent information systems; however, they require significant computational resources and careful tuning of model parameters.

The practical application of machine learning algorithms spans a wide range of fields. In particular, forecasting methods are used in financial analysis, product demand forecasting, e-commerce systems, logistics, medicine, user behavior analysis, and information system load management. Modern Python programming language tools are widely used to implement machine learning models, including the Scikit-learn, TensorFlow, Pandas, and NumPy libraries.

Thus, machine learning algorithms are an effective tool for solving forecasting and data analysis problems. The use of modern machine learning methods allows for increased forecast accuracy, automated information processing, and effective support for decision-making. An analysis of scientific research confirms the feasibility of using ensemble methods and gradient boosting algorithms for forecasting complex multifactorial processes. Further research in this area could focus on improving forecasting models, optimizing algorithm parameters, and integrating intelligent methods into modern information systems.

References

1. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly Media. URL: https://www.amazon.com/Hands-Machine-Learning-Scikit-Learn-TensorFlow/dp/1492032646.

2. Zhang C., Sjarif N. N. A., Ibrahim R. Deep learning models for price forecasting of financial time series: A review of recent advancements: 2020–2022. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2305.04811.

3. Garg R., Barpanda S., Salanke N. S. G. R., Ramya S. Machine Learning Algorithms for Time Series Analysis and Forecasting. 2022. URL: https://surl.li/expmhp.

AIR POLLUTION PREDICTION USING A DUAL-STREAM LSTM MODEL WITH ENVIRONMENTAL AND STATION DATA

Ivan Rudavskyi
Lviv Polytechnic National University, Ph.D., Department of Specialized Computer Systems, ivan.rudavskyi.asp.2025@lpnu.ua
Halyna Klym
Lviv Polytechnic National University, Dr. Sc., Prof., Department of Specialized Computer Systems, halyna.i.klym@lpnu.ua

The paper examines approaches to improving air quality forecasting using deep learning techniques. It is shown that combining station-based measurements with meteorological data within a dual-stream LSTM architecture enhances prediction accuracy and model robustness. The proposed approach is applicable to both research and practical scenarios where reliable environmental monitoring and forecasting are essential..

Keywords: air quality forecasting, LSTM, dual-stream model, attention mechanism, meteorological data.

Air pollution remains a major environmental and public health challenge, making accurate forecasting essential for effective monitoring and mitigation. The growing availability of data from ground stations and meteorological sources enables the use of data-driven methods to model complex air quality behavior [1]. In this context, deep learning models are particularly useful for capturing temporal dependencies and the influence of external factors [2].

This study introduces a Dual-Stream Long Short-Term Memory (LSTM) model for air quality prediction, where station measurements and weather data are processed in parallel streams. The data preprocessing stage includes K-Nearest Neighbors (KNN) imputation for missing values and Z-score normalization to ensure feature consistency. The outputs of both streams are combined using an attention-based fusion mechanism, which dynamically weights the contribution of each data source.

Experimental evaluation shows that the proposed approach

outperforms traditional machine learning methods and single-source models in terms of accuracy and stability. The attention mechanism improves the model's ability to capture interactions between meteorological conditions and station-based measurements. Performance assessed using the Index of Agreement, R^2, and RMSE confirms the effectiveness of the proposed model in forecasting air quality dynamics.

Table 1 presents a comparative evaluation of three performance metrics - the Index of Agreement (IA), the coefficient of determination (R^2), and RMSE for the proposed LSTM-based model and several baseline approaches, including Support Vector Regression, XGBoost, Ridge Regression, and a Single-Factor Prediction model.

Table 1. Comparison of the prediction results of the different models

Model	**IA**	**RMSE**	**R^2**
Our model	0.94	11.9	0.78
Single-factor LSTM	0.87	26.21	0.62
XGBoost	0.35	67.36	0.77
Support Vector Regression	0.26	56.04	0.14
Ridge Regression	0.25	79.24	0.51

References

1. P. Kotlia, J. Pant, M. C. Lohani, "Design and Implementation of Statistical Time Series Forecasting Model for Air Quality Assessment", Proc. 6th Int. Conf. on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), Coimbatore, India, p. 913–918, 2025. https://doi.org/10.1109/icesc65114.2025.11212556.

2. Alani, N.H.S.; Chand, P.; Al-Rawi, M. A Two-Stage Machine Learning Framework for Air Quality Prediction in Hamilton, New Zealand. Environments 2025, 12, 336. https://doi.org/10.3390/environments12090336.

PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS AS A TOOL FOR NANOMATERIAL MODELLING

Sova Ivan
Petro Mohyla Black Sea National University, Ph.D. Student, Department of Intelligent Information Systems,
owlvano@gmail.com
Kozlov Oleksiy
Petro Mohyla Black Sea National University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Intelligent Information Systems,
kozlov_ov@ukr.net
Lysenkov Eduard
Petro Mohyla Black Sea National University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Physics and Mathematics,
ealysenkov@ukr.net

Physics-informed neural networks (PINNs) embed governing equations directly into the training loss, enabling physically consistent solutions under data-scarce conditions. This paper reviews PINN applications at the nanoscale – phonon transport, quantum confinement, and nanoscale elasticity – and discusses their advantages over purely data-driven approaches as well as their current limitations.

Keywords: physics-informed neural networks, nanoscale modelling, phonon transport, Schrödinger equation, surrogate modelling.

There is a class of problems in nanomaterials science where the difficulty lies not in the absence of theory, but in the cost of solving it. Heat transfer in nanostructures is governed by the Boltzmann transport equation – well-established and exact – yet its numerical solution in the full six-dimensional phase space remains computationally intractable for systems of any practical size. A similar situation arises with the many-body Schrödinger equation: density functional theory

(DFT) partially circumvents the problem, but computational cost scales steeply with system size. In this context, physics-informed neural networks (PINNs) do not propose a replacement for physics – they propose a different way to solve it [1].

The architectural idea behind PINNs is conceptually straightforward (fig. 1). A neural network approximates the unknown solution of a partial differential equation (PDE) as a function of spatial coordinates and time. The training loss combines two types of terms: the residual of the governing equation evaluated at randomly sampled collocation points inside the domain, and the mismatch at boundary and initial conditions. Derivatives of the network output with respect to the input coordinates are computed via automatic differentiation – without numerical schemes and without a mesh [2]. The governing equation acts here not as an external constraint but as a regularizer: it forces the network to produce solutions that are physically consistent even at points where no measurements exist.

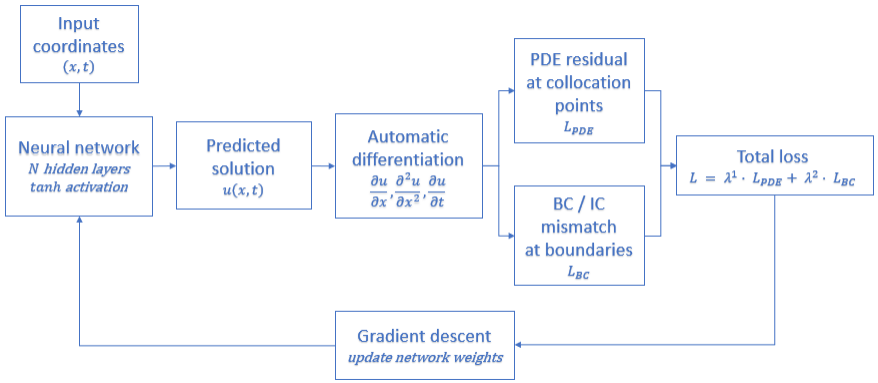


Figure 1. General architecture of a physics-informed neural network

This last property is decisive for nanoscale problems, where experimental or computational data are scarce and expensive to obtain. Purely data-driven architectures – graph neural networks in particular – require thousands of labelled examples to train reliably. PINNs can identify unknown system parameters from only a handful of measurements, since the governing equation itself carries most of the information [2].

Among concrete applications in nanomaterials science, heat transfer modelling is the most developed. At the nanoscale, Fourier's law breaks down: the phonon mean free path becomes comparable to the system size, giving rise to ballistic transport effects that produce nonlinear temperature profiles absent from the classical diffusion picture. PINNs have demonstrated the ability to solve simplified forms of the phonon Boltzmann equation across ballistic and diffusive regimes, reproducing these nonlinearities without adaptive mesh discretization [3]. For quantum mechanical problems – finding wavefunctions and energy levels of quantum wells and dots – neural network approaches to the Schrödinger equation are regarded as a promising alternative to variational and spectral methods [4]. In nanomechanics, PINNs have been applied to elasticity problems involving nanoscale stress concentrators, where classical continuum mechanics requires non-local corrections [5].

There is reason, however, to approach current results with caution. Balancing the physics residual against the data mismatch in the loss function has no general solution: the two terms may differ by orders of magnitude, and incorrect weighting leads either to divergence or to one term dominating entirely [6]. Stiff PDEs – common in multiphysics nanoscale problems – substantially impede training convergence. Scaling PINNs to three-dimensional problems with non-trivial geometry remains an open research challenge.

It should be noted that PINNs do not compete with GNN-based property prediction – they address a fundamentally different task. Where a GNN requires a large database of labelled structures and learns to approximate the mapping from composition to property, a PINN requires a physical problem formulation and learns to solve it. The two approaches are complementary rather than competing: there is reason to believe that the most productive direction lies in hybrid architectures, where a PINN provides a physically consistent coarse-level solution and a data-driven component refines it in regimes where the governing theory is incomplete.

References

1. Karniadakis G.E., Kevrekidis I.G., Lu L., Perdikaris P., Wang S., Yang L. Physics-Informed Machine Learning. *Nature Reviews Physics*. 2021. Vol. 3, No. 6. P. 422–440. DOI: 10.1038/s42254-021-00314-5.

2. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G.E. Physics-Informed Neural Networks: A Deep Learning Framework for Solving Forward and Inverse Problems Involving Nonlinear Partial Differential Equations. *Journal of Computational Physics*. 2019. Vol. 378. P. 686–707. DOI: 10.1016/j.jcp.2018.10.045.

3. Cuomo S., Di Cola V.S., Giampaolo F., Rozza G., Raissi M., Piccialli F. Scientific Machine Learning Through Physics–Informed Neural Networks: Where We Are and What's Next. *Journal of Scientific Computing*. 2022. Vol. 92, No. 3. P. 88. DOI: 10.1007/s10915-022-01939-z.

4. Han J., Zhang L., E W. Solving Many-Electron Schrödinger Equation Using Deep Neural Networks. *Journal of Computational Physics*. 2019. Vol. 399. P. 108929. DOI: 10.1016/j.jcp.2019.108929.

5. Haghighat E., Raissi M., Moure A., Gomez H., Juanes R. A Physics-Informed Deep Learning Framework for Inversion and Surrogate Modeling in Solid Mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2021. Vol. 379. P. 113741. DOI: 10.1016/j.cma.2021.113741.

6. Wang S., Yu X., Perdikaris P. When and Why PINNs Fail to Train: A Neural Tangent Kernel Perspective. *Journal of Computational Physics*. 2022. Vol. 449. P. 110768. DOI: 10.1016/j.jcp.2021.110768.

INTELLIGENT NLP PARSING AND SEMANTIC JOB MATCHING FOR ENHANCED RECRUITMENT PROCESSES NETWORKS

Stanislav Tarnohurskyi
Rivne State University of the Humanities, Bachelor,
stas.tarnohurskiy@rshu.edu.ua
Serhii Petrenko
Rivne State University of the Humanities,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
serhii.petrenko@rshu.edu.ua

This paper introduces an AI recruitment system using NLP to enhance resume parsing and job matching. The approach converts unstructured PDF and DOCX data into structured profiles using contextual embeddings for semantic matching beyond keyword search. The system integrates vacancy aggregation from external sources, candidate scoring, and skill gap analysis to provide personalized AI recommendations. Experimental results demonstrate improved accuracy and decision support for job seekers.

Keywords: natural language processing, semantic job matching, resume parsing, recruitment systems, artificial intelligence

The rapid digitalization of recruitment processes has led to a growing demand for intelligent systems capable of processing unstructured textual data and providing meaningful decision support for both job seekers and employers. Traditional recruitment platforms rely heavily on keyword-based filtering and manual resume screening, which often results in low matching accuracy, information loss, and limited personalization. This paper presents an AI-driven approach that integrates natural language processing, semantic matching, and recommendation mechanisms to improve the efficiency and transparency of job search and candidate evaluation processes.

The proposed system focuses on automated extraction of professional skills, work experience, and job roles from resumes

provided in PDF and DOCX formats. These document types remain the most common formats for resume submission, yet they pose challenges due to variability in structure, layout, and terminology. To address this issue, modern NLP techniques based on transformer-based language models are employed to identify and normalize key entities such as technical skills, soft skills, employment periods, and role descriptions. This enables the transformation of unstructured resume text into a structured candidate profile suitable for further semantic analysis.

A central component of the system is semantic job matching, which differs fundamentally from traditional keyword-based search. Instead of relying on exact term overlap, both candidate profiles and job descriptions are represented as contextual vector embeddings. This allows the system to capture semantic similarity, professional context, and implicit relationships between skills and roles. As a result, the matching process becomes more flexible and robust, identifying relevant job opportunities even when terminology differs between resumes and vacancy descriptions.

To ensure comprehensive coverage of available opportunities, the system includes a vacancy aggregation mechanism that collects and consolidates job postings from multiple external sources into a unified database. Aggregated vacancies are normalized and continuously updated, enabling real-time semantic search and comparison. Based on semantic similarity scores, a scoring system calculates the degree of correspondence between a candidate and a specific vacancy, expressed as a percentage value. This score supports prioritization of job recommendations and provides a transparent indicator of candidate suitability.

An additional feature of the proposed approach is skill gap analysis, which identifies missing or underrepresented competencies required for a target position. By comparing the extracted candidate profile with ideal vacancy requirements, the system highlights skills that should be developed to increase employability. On this basis, AI-driven recommendations are generated to improve resume structure,

content clarity, and alignment with current labor market demands. These personalized suggestions contribute not only to better matching results but also to long-term professional development.

Experimental evaluation of the system demonstrates that semantic matching significantly improves relevance compared to keyword-based baselines, reducing irrelevant job recommendations and increasing alignment with candidate experience. The integration of automated parsing, scoring, and recommendations creates a scalable, adaptable solution for modern recruitment platforms. The proposed approach illustrates how artificial intelligence can enhance both job search efficiency and decision-making quality in human resource management.

References

1. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Proceedings of NAACL-HLT.

2. De Ruijt, C., & Bhulai, S. (2021). Job Recommender Systems: A Review. arXiv preprint.

3. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2026). Speech and Language Processing (Third Edition draft). Pearson.

4. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.

DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR ADAPTIVE ROUTING DECISIONS IN DYNAMIC TRANSPORT NETWORKS

Tolkunov Dmytro
Odessa Polytechnic National University, PhD student,
5693362@as.op.edu.ua
Natali Shybaieva
Odessa Polytechnic National University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department,
n.o.shybaieva@op.edu.ua

Dynamic transport networks require routing decisions that adapt to changing conditions, yet traditional methods fail to respond when states evolve rapidly. This study develops deep reinforcement learning for adaptive routing that learns effective policies with sub-second response and solution quality within 7% of offline optimal. The graph attention network with proximal policy optimization achieves 12% travel time reduction and 18% demand fulfillment improvement.

Keywords: reinforcement learning, dynamic routing, transport networks, graph neural networks, adaptive decision making, Markov decision process, policy optimization, real-time control.

Dynamic transport networks require routing decisions that continuously adapt to traffic congestion, vehicle failures, demand fluctuations and infrastructure disruptions, yet traditional optimization techniques like integer programming and heuristic search take minutes to hours for large-scale networks and are not suitable for real-time decision-making [1, 2]. We develop deep reinforcement learning methods for adaptive routing that learn effective policies based on real-world transport network interactions and achieve sub-second response times and solution quality within 7% of offline optimal [3].

The routing problem is a Markov decision process in which states encode network state (time spent on links, waiting time, vehicle locations) and actions encode routing decisions at network nodes [4, 5]. We propose a graph attention network encoder to process network state through a message-passing layer on the transport network [6].

Each node receives information on its neighbors as attention-weighted data to embed the local and network-wide behavior of its neighbors into the network's structure. Each agent is fed into the network's policy optimization agent trained by a curriculum learning network of 50-node to 5000+ nodes [7]. The network policy optimization agent is then fed into the network and a centrally supervised critic promotes a decision on policy from the network's behavioral characteristics.

Our training is optimized through priority-weighted experience replay that oversamples high-congestion transitions [8]; domain randomization across demand patterns and disruption scenarios; and learning from pre-trained embeddings can reduce training time by 60%. The online adaptation is based on meta-learning and policy can be updated to unseen networks in 100–200 decision episodes. Bayesian uncertainty estimation leads to classical optimization for low-confidence states and results in 96% of optimal quality, and decision latency under 50 ms.

To scale our model to a 2000-node metropolitan network with 500 vehicles, we found that with a network with 5000 nodes, we can reduce the average travel time by 12% when adaptive shortest-path routing is used and improve demand fulfillment by 18% when greedy assignment is used [10]. We also found that 5000-node networks are processed in 45 ms per decision epoch compared to 200x less time with the model predictive control. We show that deep reinforcement learning is a good model for real-time routing in large-scale dynamic transport systems and that it is relatively efficient and has good quality solutions in different network conditions.

References

1. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.). MIT Press.

2. Bengio, Y., Lodi, A., & Prouvost, A. (2021). Machine Learning for Combinatorial Optimization: A Methodological Tour d'Horizon. European Journal of Operational Research, 290(2), 405–432. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.063

3. Kool, W., van Hoof, H., & Welling, M. (2019). Attention, Learn to Solve Routing Problems! International Conference on

Learning Representations (ICLR).

4. Vinyals, O., Fortunato, M., & Jaitly, N. (2015). Pointer Networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 28, 2692–2700.

5. Nazari, M., Oroojlooy, A., Snyder, L., & Takáč, M. (2018). Reinforcement Learning for Solving the Vehicle Routing Problem. Advances in Neural Information Processing Systems, 31, 9839–9849.

6. Veličković, P., Cucurull, G., Casanova, A., Romero, A., Liò, P., & Bengio, Y. (2018). Graph Attention Networks. International Conference on Learning Representations (ICLR).

7. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). Proximal Policy Optimization Algorithms. arXiv preprint arXiv:1707.06347.

8. Schaul, T., Quan, J., Antonoglou, I., & Silver, D. (2016). Prioritized Experience Replay. International Conference on Learning Representations (ICLR).

9. Finn, C., Abbeel, P., & Levine, S. (2017). Model-Agnostic Meta-Learning for Fast Adaptation of Deep Networks. International Conference on Machine Learning (ICML), 1126–1135.

10. Joe, W., & Lau, H. C. (2020). Deep Reinforcement Learning Approach to Solve Dynamic Vehicle Routing Problem with Stochastic Customers. International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS), 394–402.

Секція 7. Інформаційні технології в освіті та науці

Section 7. Information Technologies in Education and Science

АНАЛІТИЧНІ ПАРАМЕТРИ КОНЦЕПЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ БАГАТОДОМЕННОГО ПРОТИСТОЯННЯ

Базарний Сергій Васильович
Національний університет оборони України, доктор філософії, заступник начальника науково-дослідного відділу дослідження проблем розвитку та впровадження стратегічних комунікацій інституту стратегічних комунікацій, Київ, Україна, serhii.bazarnyi@edu.nuou.org.ua
Терновий Олександр Васильович
Національний університет оборони України, ад'юнкт науково-дослідного відділу дослідження проблем розвитку та впровадження стратегічних комунікацій інституту стратегічних комунікацій, Київ, Україна, o.ternovyi@edu.nuou.org.ua

ANALYTICAL PARAMETERS OF THE DECISION-MAKING PROCESS CONCEPT IN A MULTI-DOMAIN CONFLICT

Bazarnyi Serhii Vasylovich
National Defence University of Ukraine, PhD, deputy head of the research department for the study of issues related to the development and implementation of strategic communications strategic communications institute, Kyiv, Ukraine, serhii.bazarnyi@edu.nuou.org.ua
Oleksandr Vasyliovych Ternovyi
Adjunct at the Research Division for the Study of Strategic Communications Development and Implementation, Institute o f Strategic Communications, National Defence University of Ukrain, Kyiv, Ukraine, o.ternovyi@edu.nuou.org.ua

The article explores the concept of integrated support for the process of making managerial decisions in the conditions of modern multi-domain confrontation based on the platform approach of data-driven governance. The transformation of the nature of armed confrontation, the development of multi-domain operations, the growth of the role of digital infrastructure, artificial intelligence, big data analytics and decision support systems are substantiated.

The Palantir platform is considered as an analytical model of an integrated decision support system capable of providing data ingestion, data fusion, multi-level analytical processing of information, and the formation of a single operational picture for military command and control bodies, the security and defense sector, and other public administration entities.

A conceptual and analytical model combining graph, vector-matrix, probabilistic and multi-criteria approaches is proposed for assessing the effectiveness of the decision-making process in a multi-domain operating environment. It is established that the effectiveness of management is determined by the degree of data integration, their relevance, reliability, timeliness of processing, as well as the ability of the system to maintain functional stability under conditions of decentralization, information overload, degradation of individual control circuits and loss of part of the management links.

The results of the study can be used for the further development of doctrinal approaches to information support for management, as well as the formation of promising solutions in the field of defense planning, crisis response, and management in the security and defense sector.

Keywords: security and defense sector, Defense Forces of Ukraine, national security, governance sustainability, multi-domain interaction

Сучасні збройні конфлікти характеризуються переходом від платформоцентричних до даноцентричних моделей ведення війни, де ключовим ресурсом стає не лише вогнева міць, а й здатність інтегрувати, обробляти та інтерпретувати великі масиви різнорідних даних у режимі реального часу. Війна в Україні відображає формування нового типу операційного середовища – data-centric battlespace, у якому ефективність рішень визначається швидкістю та якістю інформаційної інтеграції. Попри значну кількість досліджень у сфері штучного інтелекту, багатодоменних операцій та цифрових військових технологій, недостатньо розробленим залишається питання інтеграції концепції data-driven governance з практиками багатодоменного протистояння та

ролі цифрових платформ як інструментів трансформації управлінських процесів[1, 2]. Попри розвиток досліджень у сфері AI in warfare, MDO, data fusion and battlefield management systems, недостатньо опрацьованим залишається питання операціоналізації параметрів інтегрованої підтримки прийняття рішень, як складової data-driven governance в умовах багатодоменного протистояння [3, 4].

У цьому контексті платформи типу Palantir можуть розглядатися як інструмент реалізації подібної моделі управління, де ключовим елементом виступає не ієрархія, а інтегрована інформаційна архітектура. Події ескалації військового протистояння Ірану у 2026 році засвідчили, що ліквідація низки ключових політичних фігур не призвела до автоматичного управлінського колапсу: іранська система продовжила воєнно-політичну діяльність, зберегла здатність до активних дій у відповідь [5, 6]. Автоматизоване делегування повноважень через попередньо встановлені алгоритми реагування дозволяє системі функціонувати в автономному режимі при втраті зв'язку з центром управління. Для операціоналізації оцінки ефективності управління в багатодоменному середовищі розроблено систему аналітичних параметрів, наведених у табл. 1.

Таблиця 1. Аналітичні параметри концепції процесу прийняття рішень

Параметр	Техніко-аналітичний зміст	Метрика
Часова затримка прийняття рішення	Інтервал між первинним сигналом та формуванням рішення	секунди/ хвилини
Повнота інтеграція даних	Ступінь охоплення джерел даних у аналітичній системі	від 0-1
Достовірність даних	Імовірність даних (верифікація, несуперечливість)	від 0-1(%)
Актуальність даних	Ступінь релевантності даних	секунди/ хвилини

Інтенсивність багатодоменної взаємодії	Рівень одночасного впливу доменів	від 0-n
Когерентність операційної картини	Ступінь узгодженості даних між підсистемами	від 0-1
Навантаження на суб'єкта	Рівень когнітивного перевантаження командира	індекс від 0-1
Рівень контролю	Частка рішень, що залишаються під human oversight	від 0-1
Стійкість контуру управління	Здатність системи зберігати функціональність при втраті окремих центрів або каналів	від 0-1
Рівень централізації архітектури управління	Ступінь залежності системи	від 0-1
Швидкість міжвідомчої взаємодії	Темп обміну інформацією	хвилини/години
Інтегральна ефективність	Сумарна результативність системи	від 0-1

У ході дослідження обґрунтовано, що в умовах багатодоменного протистояння стійкість державного управління трансформується з ієрархічної в мережеву модель, де ключовим фактором стає реалізація підходу data-driven governance на базі інтегрованих цифрових платформ. Таким чином, функціональна живучість сучасної державної системи в умовах децентралізованого конфлікту прямо залежить від здатності конвертувати великі масиви даних у цілісну ситуаційну обізнаність та когерентну операційну картину.

Список використаних джерел

1. Bode, I., Nadibaidze, A., Watts, T. F. A., & Zhang, Q. (2025). Ensuring the exercise of human agency in AI-based military systems:

concerns across the lifecycle. *Ethics and Information Technology*, 27(4). https://doi.org/10.1007/s10676-025-09861-2.

2. Feng, R. et al. (2025). Data-driven governance: Developing evaluation indices for China's intelligent political and legal systems. Sustainable Futures, 10, 101207. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101207.

3. Aerospace & Defence. (2026, March 26). *German Army Eyes AI To Expedite Wartime Decision-Making*. Aerospace & Defence News. https://www.aerospace-and-defence.com/german-army-ai-expedite-wartime-decisions/.

4. Mathematical model of multi-domain interaction based on game theory / S. Bazarnyi, Y. Husak, T. Voitko, F. Aliew, S. Yevseiev. *Advanced Information Systems*. 2025. Vol. 9, No. 3. P. 22–31. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.3.03.

5. NATO Allied Command Transformation. (2024). *Multi-Domain Operations: 2024 Report*. NATO ACT Publications. https://www.act.nato.int/wp-content/uploads/2024/05/2024-MDO-Report-LR.pdf.

6. Міністерство оборони України. (2026, March 12). *Україна першою в світі відкриває для партнерів доступ до тренування AI-моделей на реальних даних з поля бою*. Офіційний вебпортал МОУ. https://mod.gov.ua/news/ukrayina-pershoyu-v-svitividkrivaye-dlya-partneriv-dostup-do-trenuvannya-ai-modelej-na-realnih-danih-z-polya-boyu.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМУНІКАЦІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ

Беньковська Наталя Борисівна
кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри мовної підготовки
Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»,
benkovskanb@gmail.com

INFORMATION TECHNOLOGIES AS A MEANS OF FORMING PROFESSIONAL COMMUNICATION IN MILITARY EDUCATION

Benkovska Natalia Borysivna
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Head of the Language Training Department,
Naval Institute of the National University «Odesa Maritime Academy»,
benkovskanb@gmail.com

The paper analyses the potential of information technologies as an effective tool for forming professional communication for future military specialists. The essence of professional communication in military conditions has been revealed, modern digital tools and pedagogical approaches to their use have been analyzed. A model for integrating information technologies into the process of developing communicative competence of cadets has been proposed.

Keywords: information technologies, professional communication, military education, digitalization, communicative competence, distance learning.

В умовах повномасштабної війни та трансформації сектору безпеки і оборони України особливого значення набуває підготовка військових фахівців нового покоління, здатних діяти в складному інформаційному середовищі. Професійна діяльність офіцера безпосередньо пов’язана з ефективною комунікацією – як у внутрішніх підрозділах, так і в міжнародному середовищі.

Сучасні військові операції характеризуються високим рівнем інформатизації, що вимагає від фахівців не лише технічних знань, але й розвинених комунікативних навичок, зокрема: чіткого передавання інформації; здатності працювати в багатонаціональних командах; володіння професійною термінологією іноземною мовою; навичок цифрової комунікації.

У цьому контексті інформаційні технології виступають не лише засобом навчання, а й середовищем формування професійної комунікації.

Питання цифровізації освіти та впровадження інформаційно-комунікаційних технологій активно досліджуються у працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Особливу увагу приділено таким аспектам: використання цифрових платформ у навчанні; розвиток дистанційної освіти; формування комунікативної компетентності засобами ІТ; впровадження адаптивних і персоналізованих освітніх систем.

У військовій освіті дослідження зосереджуються переважно на технічній підготовці, тоді як комунікативний аспект, особливо з використанням ІТ, потребує подальшого опрацювання.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та практичне визначення можливостей інформаційних технологій у формуванні професійної комунікації майбутніх офіцерів.

Професійна комунікація військового фахівця є складною інтегративною якістю, що включає: мовну компетентність; соціокультурну компетентність; стратегічну (комунікативну) компетентність; цифрову компетентність.

Особливістю військової комунікації є її регламентованість, чіткість, лаконічність та орієнтація на результат. Вона часто відбувається в умовах обмеженого часу та підвищеного ризику, що підвищує вимоги до якості комунікації.

В освітньому середовищі використовуються різні інформаційні технології: системи управління навчанням (LMS), синхронні комунікаційні технології, симуляційні та тренажерні технології, інструменти на основі штучного інтелекту, хмарні технології та спільна робота тощо.

1. Системи управління навчанням (LMS). Платформи типу

Moodle, Google Classroom забезпечують структурований доступ до навчального контенту, організацію комунікації між викладачем і курсантами, можливість виконання письмових завдань. Це сприяє розвитку: ділового письма, навичок аргументації, формалізованої комунікації.

2. Синхронні комунікаційні технології. Використання відеоконференцій (Zoom, MS Teams) дозволяє: проводити брифінги та дебрифінги; моделювати службові ситуації; розвивати навички публічного виступу. Особливо ефективним є метод role-play, де курсанти відтворюють реальні комунікативні сценарії.

3. Симуляційні та тренажерні технології. Цифрові симулятори дозволяють створювати умови, максимально наближені до реальних: командні операції; кризові ситуації; міжособистісна взаємодія в підрозділі. Це формує стресостійкість, швидкість прийняття рішень, ефективну командну комунікацію.

4. Інструменти на основі штучного інтелекту. ІТ-рішення з елементами штучного інтелекту забезпечують: автоматичний аналіз мовлення; оцінювання письмових робіт; генерацію навчальних сценаріїв. Це дозволяє індивідуалізувати навчання, підвищити ефективність зворотного зв'язку, розвивати автономність курсантів.

5. Хмарні технології та спільна робота. Google Docs, Microsoft 365 дозволяють організувати колективне написання документів, спільне планування, командну взаємодію. Це сприяє формуванню навичок співпраці, цифрової комунікації, відповідальності за спільний результат.

Ефективне використання інформаційних технологій передбачає впровадження таких підходів: компетентнісний підхід – орієнтація на практичні результати; діяльнісний підхід – навчання через виконання професійних завдань; комунікативний підхід – акцент на реальній взаємодії; змішане навчання (blended learning) – поєднання онлайн і офлайн форматів.

В дослідженні пропонуємо модель формування професійної комунікації. Модель включає три компоненти: когнітивний

(знання термінології, розуміння комунікативних стратегій), практичний (виконання завдань у цифровому середовищі, участь у симуляціях), рефлексивний (самооцінювання, аналіз власної комунікації). ІТ інтегруються на кожному етапі як інструмент і як середовище.

Основними перевагами використання ІТ вбачаємо: інтерактивність навчання; доступ до глобальних ресурсів; персоналізація навчального процесу; підвищення мотивації; формування цифрової компетентності.

Однак, існують проблеми та ризики використання ІТ в освітньому середовищі. Такими ризиками можуть бути: кібербезпека та захист інформації; залежність від технічної інфраструктури; недостатня підготовка викладачів; інформаційне перевантаження.

Інформаційні технології є потужним інструментом формування професійної комунікації у військовій освіті. Їх інтеграція дозволяє підвищити ефективність навчання, забезпечити практичну спрямованість підготовки та сформувати навички, необхідні для сучасного військового фахівця.

Список використаних джерел

1. Kusiak, L., Didenko, O., Pavlenko, O., Romanyshyn, Yu., Kramarenko, V., Petrash, A., Danylenko, O., Benkovska, N. (2024). Implementing Content-Based Instruction in Online ESP Course within the System of Professional Training of Future Officers. *World Journal of English Language*. Vol. 14. № 6 (2024). pp. 35 – 46. URL: https://doi.org/10.5430/wjel.v14n6p35

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ КРИСТАЛІВ ІС

Браїловський Володимир Васильович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, v.brailovskyi@chnu.edu.ua
Іванчук Михайло Михайлович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, асистент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, mihael.ivanchuk@gmail.com,
Рождественська Маргарита Григорівна
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua
Мельник Михайло Сергійович
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, магістр кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, melnyk.mykhailo@chnu.edu.ua

TEMPERATURE CONTROL OF IC CRYSTALS

Brailovskyi Volodymyr Vasylovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, associate professor at the Department of Radio Engineering and Information Security, v.brailovskyi@chnu.edu.ua
Ivanchuk Michael Mykhailovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, assistant at the Department of Radio Engineering and Information Security, mihael.ivanchuk@gmail.com
Rozhdestvenska Marharyta Hryhorivna
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, associate professor at the Department of Radio Engineering and Information Security, m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua
Melnyk Mykhailo Serhiyovych
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, master's student at the Department of Radio Engineering and Information Security, melnyk.mykhailo@chnu.edu.ua

The paper proposes a method for controlling the temperature of a semiconductor crystal by measuring the voltage across the p–n junction within the crystal. This technique can be applied in training laboratories to study the effect of negative feedback on the temperature stability of the operating point. The integration of information technology and artificial intelligence enhances the effectiveness of such research.

Keywords: temperature research, integrated circuit, Arduino Nano, p-n junction, amplifier

Практично не існує радіоелектронної апаратури, нечутливої до впливу температури. Тому контроль [1–2] та підтримання належного температурного режиму апаратури або окремих її елементів є настільки ж важливими, як і проведення експериментальних досліджень впливу температури на параметри радіоелементів. Також існує потреба вимірювання температури всередині різних об'єктів [2]. В цьому аспекті перспективним є використання *p-n* переходу, який може забезпечувати високу точність вимірювання температури [3].

Температурні дослідження передбачають наявність термостата, в якому розміщується досліджуваний об'єкт і задається певна температура. Однак, дослідити вплив температури на роботу, наприклад, біполярного транзистора можна, використавши мікросхему К198НТ1Б [4] і не застосовуючи термостат. Мікросхема містить п'ять *n-p-n* транзисторів, сформованих в одному кристалі, тому між ними існує хороший тепловий контакт. Водночас тепловий опір кристалу напівпровідникового матеріалу з навколишнім середовищем суттєво вищий.

Сукупна дія вказаних факторів забезпечує ефективний теплообмін між транзисторами мікросхеми. Зміна температури будь-якого з них спричинить відповідну зміну температури решти транзисторів. Отже, зростання температури, наприклад, транзисторів $T_1,…T_3$ буде супроводжуватися підвищенням температури транзистора T_4 (рис. 1).

На паралельно з'єднаних транзисторах $T_1,…T_3$ виконано

електронну схему підсилювача, який слугуватиме нагрівником за рахунок переведення транзисторів в активну область.

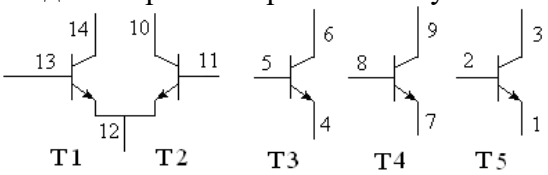


Рисунок 1. Схема електрична принципова мікросхеми К198НТ1Б

На транзисторі T_4 реалізуємо однокаскадний підсилювач класу В. При подачі напруги живлення на схему підсилювача на транзистори $T_1,\ldots T_3$ їх температура зросте, що спричинить підвищення температури T_4 і зміну режиму його роботи. Для вимірювання температури використовується база-емітерний перехід транзистора T_5 мікросхеми К198НТ1Б. Спад напруги на зазначеному *p-n* переході підсилюється операційним підсилювачем AD8552 [5]. Підсилений сигнал в мікроконтролері Arduino Nano [6] перетворюється в цифровий сигнал, а результат перетворення відображається на екрані індикатора.

На рис. 2 зображено лабораторний макет приладу вимірювання температури кристалу напівпровідникового матеріалу, в якому сформовано п’ять транзисторів, а давачем температури є один з них.

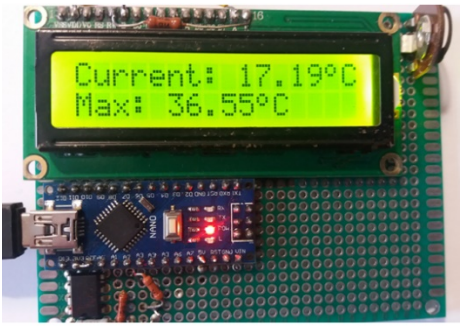


Рисунок 2. Зовнішній вигляд пристрою вимірювання температури кристалу

Зазначена методика дозволяє дослідити вплив від’ємного оберненого зв’язку на температурну стабільність положення робочої точки підсилювача. Подаємо напругу живлення на підсилювач, реалізований на транзисторах $T_1,\ldots T_3$. Оскільки

транзистори в активній області, то температура транзисторів, а отже і кристалу напівпровідникового матеріалу зростає. Після встановлення стабільних показів температури на дисплеї останні записуються. Вимірюється і величина спаду напруги на електродах колектор-емітер T_4.

На екран дисплея (рис. 2) виводяться значення мінімальної та максимальної температури. Такий алгоритм вимірювання температури суттєво спрощує сам процес досліджень.

З метою унаочнення результатів досліджень та спостереження динаміки процесів за допомогою AI розроблений Python-скрипт, який зчитує дані з Arduino Nano через COM-порт, записує їх у масив і будує графіки за допомогою відповідних бібліотек.

Список використаних джерел

1. Луцик Я. Т., Гук О. П., Лах О. І., Стадник Б. І. Вимірювання температури: теорія та практика. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 560с.

2. Chancel, G., Toulemont, J., Mailly, F., Maurine, P., & Nouet, P. (2025). Using Embedded Temperature Sensors to Detect Package Tampering. *Sensors*, *25*(14), 4250. https://doi.org/10.3390/s25144250

3. Jones, M. (2012, May). *Accurate temperature sensing with an external P-N junction* (Ap. Note 137 AN137-1). Linear Technology. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an137f.pdf

4. К198НТ1А, К198НТ1Б, КР198НТ1А, КР198НТ1, КБ198НТ1-4. Datasheet. [Online] URL: https://surl.li/ikjgmb

5. AD8552. Datasheet. [Online] URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8551_8552_8554.pdf

6. Arduino Nano Pinout: Complete Pin Guide & Design Tips. [Online] URL: https://hilelectronic.com/arduino-nano-pinout/

МОДУЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ УСПІШНОСТІ КОРИСТУВАЧА В LMS MOODLE

Бринчук Марія Олексіївна
Волинський національний університет імені Лесі Українки, студентка факультету інформаційних технологій і математики, e-mail: Brynchuk.Mariia2023@vnu.edu.ua
Булатецький Віталій Вікторович
Волинський національний університет імені Лесі Українки, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: Bulatetsky.Vitaly@vnu.edu.ua

USER ACADEMIC PERFORMANCE ANALYSIS MODULE FOR LMS MOODLE

Mariia O. Brynchuk
Lesya Ukrainka Volyn National University, Student of the Faculty of Informations Technologies and Mathematics, e-mail: Brynchuk.Mariia2023@vnu.edu.ua
Vitalii V. Bulatetskyi
Lesya Ukrainka Volyn National University, PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Science and Cybersecurity, e-mail: Bulatetsky.Vitaly@vnu.edu.ua
Vitalii V. Bulatetskyi

The paper presents the development of a module for LMS Moodle designed for student performance analysis. The system's functionality is highlighted, including activity monitoring, grade dynamics visualization, and automated user clustering using the k-means algorithm. The module enables instructors to identify "at-risk" groups and make informed decisions regarding learning personalization based on real-time system logs without the need for manual data export.

Keywords: LMS Moodle, learning analytics, data mining, clustering, k-means algorithm, student performance, activity monitoring.

Завдяки систематичному збору даних журналу подій і результатів тестування, платформа Moodle формує потужний

інформаційний ресурс, який можна використати для аналізу та прогнозування освітньої траєкторії студентів. Успішність у системі є багатовимірним показником, що охоплює не лише оцінки, а й залученість та прогрес виконання модулів [1]. Сучасний ринок пропонує декілька підходів до аналізу цих даних. Вбудована система Learning Analytics використовує алгоритми машинного навчання для виявлення студентів «групи ризику», проте її ефективність часто обмежена низькою інтерпретованістю моделей [2]. Популярний плагін Analytics Graphs фокусується на наочній візуалізації активності, тоді як інструмент Configurable Reports дозволяє створювати гнучкі SQL-звіти, що, однак, потребує від викладача спеціальних технічних навичок. Використання сторонніх сервісів, таких як IntelliBoard, дозволяє розширити можливості системи Moodle за допомогою інтерактивних аналітичних звітів, що відображають головні індикатори результативності. Водночас висока вартість таких рішень обмежує їхнє застосування в освітньому процесі. Дослідження показують, що значущі індикатори в LMS дозволяють ефективно прогнозувати результати навчання [3].

На сьогодні засоби реалізації алгоритмів інтелектуального аналізу в Moodle потребують подальшого вдосконалення, оскільки більшість існуючих аналогів мають обмежений функціонал: відсутність прогностичних модулів, складність конфігурації та брак безкоштовних рішень з персоналізованою підтримкою користувача. Це зумовлює необхідність розробки інструментів, що автоматизують процес виявлення закономірностей для підтримки прийняття рішень [4].

В роботі розроблено модуль, який представлений у вигляді окремої сторінки, що інтегрує ключові показники освітнього процесу безпосередньо з бази даних Moodle (зокрема з logstore_standard_log). Модуль працює автоматично, виключаючи потребу в ручному експорті даних, та підтримує фільтрацію за конкретними курсами.

Інструментарій модуля поєднує методи описової статистики та інтелектуального аналізу. Відображаються картки з кількістю зареєстрованих та активних користувачів.

Сформовано графіки щоденних дій за останні 7 днів та рейтинги найактивніших студентів за місяць. Реалізовано діаграму розподілу оцінок за діапазонами та графік тижневої динаміки середнього балу за останні три місяці.

Центральним елементом модуля є алгоритм k-means, який автоматично групує студентів за чотирма метриками: середній бал, кількість зданих робіт, загальна активність та тривалість неактивності.

Програма нормалізує ознаки та виконує ітераційне обчислення центроїдів для k=4 кластерів. На основі зважених показників (пріоритет – середній бал та активність) студенти розподіляються на групи: від успішних до «групи ризику». Підсумки візуалізовано за допомогою діаграми розсіювання та деталізованих таблиць за кластерами з можливістю переходу до профілю конкретного користувача.

Застосована логіка дозволяє викладачеві оперативно виявляти закономірності в навчанні та надавати персоналізовану підтримку студентам, які цього потребують.

Список використаних джерел

1. Триус Ю. В. та ін. Використання системи електронного навчання MOODLE для контролю і оцінювання навчальної діяльності студентів ВНЗ. Черкаси, 2010. 200 с.
2. Learning Analytics for Moodle - Moodle - LMS Analytics. Moodle. URL: https://moodle.com/functionality-with-moodle/learning-analytics-for-moodle/
3. You J. W. Identifying significant indicators using LMS data to predict course achievement in online learning. *The Internet and Higher Education*. 2016. Vol. 29. P. 23–30.
4. Siemens G., Long P. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education. *EDUCAUSE Review*. 2011. Vol. 46, no. 5. P. 30–32.

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ НАЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Ващук Дмитро Олександрович
Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Український державний хіміко-технологічний університет», здобувач кафедри інформаційних систем, vashuck10@gmail.com
Ляшенко Оксана Анатоліївна
Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут «Український державний хіміко-технологічний університет», завідувач кафедри інформаційних систем, канд.техн.наук, доцент, o.a.liashenko@ust.edu.ua

DESIGN OF AN EDUCATIONAL PROCESS PLANNING SYSTEM

Vashchuk Dmytro Oleksandrovych
Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology", Student of the Department of Information Systems, vashuck10@gmail.com
Liashenko Oksana Anatoliivna
Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology", Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Information Systems, o.a.liashenko@ust.edu.ua

This paper is devoted to the UML-based design of the edu-planner web application for automating the creation of class schedules. The functional, structural, and behavioral models of the system are described, including the architecture based on PostgreSQL.

Keywords: UML, edu-planner, schedule automation, design, web application, conflict checking, object-oriented approach.

Організація навчального процесу у закладах освіти є складним і трудомістким завданням, яке щосеместрово постає перед навчальною частиною. Суть проблеми полягає у

необхідності одночасного врахування десятків взаємопов'язаних і нерідко суперечливих обмежень: наявності та місткості аудиторій, завантаженості й побажань викладачів, вимог навчальних планів різних спеціальностей, а також організаційних запитів кафедр. Зі зростанням кількості груп і дисциплін складність задачі зростає експоненційно, що робить її практично нерозв'язною вручну. На практиці більшість закладів вирішує цю задачу за допомогою паперових або електронних таблиць. Паперовий підхід є найменш ефективним, адже виявлення конфліктів покладається виключно на людську уважність. Перехід до Excel пришвидшує окремі операції, однак принципово не змінює ситуацію: перевірка конфліктів залишається ручною, а спільна робота кількох методистів над одним файлом практично унеможливлюється [1].

Зазначена проблематика обумовлює актуальність розробки спеціалізованого програмного рішення для автоматизації планування навчального процесу. Метою роботи є проєктування системи edu-planner – вебзастосунку, що надає централізований інструмент для управління розкладом занять з автоматичною перевіркою конфліктів і підтримкою спільної роботи.

Для проєктування інформаційних систем зазвичай використовується один із двох підходів: функціонально-модульний та об'єктно-орієнтований. Функціонально-модульний підхід до проєктування систем використано, наприклад, в роботах [2, 3]. У роботі обрано об'єктно-орієнтований підхід із застосуванням UML.

Функціональний вимір системи описано за допомогою діаграми варіантів використання, яка визначає межі застосунку та відображає взаємодію між акторами і функціональними можливостями. У системі виділено двох основних акторів: адміністратора та методиста. Адміністратор відповідає за технічну підтримку системи. Методист є основним оперативним користувачем: він формує навчальне навантаження кафедри, призначає дисципліни викладачам, запускає процедуру автоматичної генерації розкладу, переглядає й коригує результат, а також усуває конфлікти.

Структурний вимір системи розкрито на трьох рівнях деталізації. На найвищому рівні діаграма пакетів відображає логічну архітектуру застосунку, розподілену на чотири модулі: обробка HTTP-запитів і маршрутизація, бізнес-логіка з алгоритмом генерації розкладу, рівень доступу до даних та опис сутностей предметної області. На концептуальному рівні діаграма класів фіксує бізнес-об'єкти предметної області. Ключовими сутностями є група, викладач з переліком дисциплін, аудиторія, заняття як одиниця розкладу та семестр як організаційна рамка. Між ними визначено асоціації: один викладач може вести кілька дисциплін, одне заняття прив'язане до однієї аудиторії, викладача та групи, а семестр агрегує множину занять. На технічному рівні діаграма класів деталізує архітектуру до рівня реалізації – для кожної сутності визначено репозиторій з інтерфейсом, сервісний клас і структури запитів та відповідей API. Для зберігання даних обрано реляційну СУБД PostgreSQL, яка дозволяє коректно описати складні зв'язки між сутностями та забезпечити цілісність даних на рівні бази.

Поведінковий вимір системи розкрито за допомогою наступних діаграм. Діаграма діяльності описує алгоритм генерації розкладу: процес починається зі збору вхідних даних, після чого виконується ітеративне призначення занять з перевіркою трьох типів конфліктів – часового, просторового та ресурсного. Якщо повний розклад сформувати не вдається, система генерує звіт із переліком невирішених конфліктів для ручного втручання методиста. Діаграма послідовності деталізує взаємодію між компонентами під час типового сценарію: браузер методиста надсилає запит до контролера, який делегує виконання сервісу, що звертається до репозиторіїв, виконує алгоритм і повертає результат клієнту. Діаграма кооперації відображає ті самі взаємодії з акцентом на структурних зв’язках між об’єктами. Діаграма станів моделює життєвий цикл сутності розкладу через стани: чорновик, генерація, сформовано з конфліктами, затверджено та опубліковано. Перехід до стану затвердження можливий лише за відсутності невирішених конфліктів, що унеможливлює публікацію некоректного розкладу.

Перевагою запропонованого підходу над існуючими є перевірка конфліктів при формуванні розкладу та забезпечення спільного доступу для всіх учасників процесу в режимі реального часу. Це дозволяє суттєво скоротити час, який навчальна частина витрачає на складання та актуалізацію розкладу, знизити кількість помилок і підвищити оперативність реагування на зміни. Подальші кроки роботи передбачають реалізацію спроєктованої системи та її апробацію в умовах реального навчального закладу, що дозволить оцінити практичну ефективність запропонованих рішень і виявити напрями для подальшого вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Димова Г.О. Розробка моделі складання розкладу занять методом еволюційного пошуку // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 2. – С. 3–9.

2. Ляшенко О.А., Кузьменко І.В. Побудова функціональної моделі розрахунку навантаження професорсько-викладацького складу кафедри // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – № 17. – С. 20–26.

3. Ляшенко О.А., Шулак В.О. Застосування функціонально-модульного підходу до проектування підсистеми визначення збалансованого раціону харчування // Комп’ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – 2018. – № 2 (4). – С. 34–44. DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-34-44

ЦИФРОВА STEM-ПЛАТФОРМА ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ОСВІТИ, НАУКИ ТА ПРАКТИКИ

Демчук Марія Олегівна
студентка, Луцький національний технічний університет
mariademchuk40@gmail.com
Гулай Ольга Іванівна
д.пед.н., професор, професор кафедри цифрових освітніх технологій, Луцький національний технічний університет
o.hulai@lntu.edu.ua

DIGITAL STEM PLATFORM AS A TOOL FOR THE INTEGRATION OF EDUCATION, SCIENCE, AND RACTICE

Mariia Demchuk
Student, Lutsk National Technical University
mariademchuk40@gmail.com
Olha Hulai
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor at the Department of Digital Educational Technologies,
Lutsk National Technical University
o.hulai@lntu.edu.ua

The paper examines the role of a digital STEM platform in integrating education, science, and practice. It highlights the importance of STEM-based approaches and blended learning in modern education. The study emphasizes how digital platforms support collaboration, develop key competencies, and improve learning efficiency by combining theoretical knowledge with practical application.

Keyword:. STEM education, digital platform, blended learning, digital technologies, higher education, competencies, educational environment

Інтеграція цифрових технологій в освітнє середовище є характерною ознакою навчального процесу, що сприяє підвищенню доступності та ефективності навчання. Орієнтація на потреби ринку праці зумовлює необхідність формування низки

ключових компетентностей, зокрема критичного мислення, інформаційної грамотності, комунікаційних умінь і здатності до безперервного навчання. У цьому аспекті особливої актуальності та затребуваності набуває STEM-освіта, що інтегрує природничі науки, технології, інженерію та математику в єдину міждисциплінарну систему навчання. Такий підхід орієнтований на розвиток критичного мислення, креативності, дослідницьких навичок і здатності до розв'язання реальних проблем. STEM-освіта сприяє формуванню практикоорієнтованих компетентностей, оскільки передбачає активне залучення здобувачів освіти до проєктної діяльності, експериментування та використання сучасних цифрових інструментів. Вона також забезпечує підготовку конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно діяти в умовах інноваційної економіки та швидких технологічних змін.

Значущість STEM-освіти активно підкреслюється на міжнародному рівні, зокрема в межах діяльності World Economic Forum (Давоського форуму), де вона розглядається як ключовий чинник економічного розвитку та інновацій. Експерти форуму наголошують, що в умовах Четвертої промислової революції попит на STEM-компетентності стрімко зростає, а їх нестача може призвести до глобального дефіциту кадрів. За прогнозами, понад 85 млн робочих місць можуть залишитися незаповненими до 2030 року через брак відповідних навичок.

Однією з головних проблем сучасного навчання є те, що освітній процес часто є фрагментованим. Студенти та викладачі використовують різні платформи для навчання, спілкування, виконання завдань, що створює певні труднощі в організації роботи. Через це виникає потреба у створенні єдиного цифрового середовища, яке б об'єднувало всі необхідні функції.

Запропоноване нами рішення – цифрова STEM-платформа – створює цілісне освітнє середовище, де поєднуються навчання, дослідження та практична діяльність. Як зазначається у наукових дослідженнях, цифрові технології забезпечують ефективну взаємодію між учасниками освітнього процесу та сприяють формуванню STEM-екосистеми [1]. Це означає, що студенти,

викладачі та інші учасники можуть працювати разом у межах однієї платформи.

Цифрова STEM-платформа може включати різні функціональні можливості: доступ до навчальних матеріалів, виконання завдань, комунікацію між користувачами, а також інструменти для проведення досліджень і реалізації проєктів. Такий підхід дозволяє зробити навчання більш структурованим і зрозумілим.

Крім того, поєднання STEM-підходу з цифровими технологіями сприяє розвитку важливих компетентностей у студентів. Зокрема, формуються цифрові навички, вміння працювати з інформацією, аналізувати її та приймати обґрунтовані рішення. Також розвивається критичне мислення та здатність до розв'язання складних задач [2]. Це є надзвичайно важливим у сучасному світі, де інформація постійно змінюється і потребує швидкого опрацювання.

Ще однією важливою перевагою цифрової STEM-платформи є можливість організації проєктної діяльності. Студенти можуть працювати над реальними задачами, виконувати дослідження, створювати власні проєкти та презентувати результати своєї роботи. Це дозволяє краще зрозуміти навчальний матеріал і побачити, як він застосовується на практиці. Такий підхід сприяє формуванню професійних навичок і підвищує мотивацію до навчання [3].

Особливу роль у сучасній освіті відіграє змішане навчання, яке поєднує традиційні форми з використанням онлайн-технологій. Такий формат дозволяє зробити навчання більш гнучким, адаптувати його до індивідуальних потреб студентів і забезпечити доступ до великої кількості ресурсів [4]. У цьому випадку цифрова платформа виступає основним інструментом організації навчального процесу.

На нашу думку, саме поєднання STEM-підходу, цифрових технологій та змішаного навчання створює найбільш ефективну модель сучасної освіти. Цифрова STEM-платформа в цьому випадку виступає не просто інструментом, а основою всього освітнього середовища.

Таким чином, розвиток STEM-освіти є стратегічним пріоритетом, що визначає здатність суспільства адаптуватися до технологічних змін і забезпечувати сталий економічний розвиток. Можна зробити висновок, що цифрова STEM-платформа є важливим елементом сучасної освіти, який забезпечує інтеграцію навчання, науки та практики. Вона сприяє розвитку ключових компетентностей, підвищує ефективність навчального процесу та створює умови для реалізації інноваційних підходів до освіти. Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням функціональних можливостей таких платформ та їх впровадженням у різні освітні середовища.

Список використаних джерел

1. Hrynevych, L., Morze, N., & Vember, V. (2021). *The role of digital technologies in the development of the STEM education ecosystem*. Retrieved from https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/4461

2. Barna, O., Kuzminska, O., & Semerikov, S. (2025). *Enhancing digital competence through STEM-integrated learning*. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s44217-025-00821-y

3. Buturlina, O., et al. (2021). *STEM Education in Ukraine in the context of sustainable development*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/348941405

4. Chervinska, I., et al. (2023). *Blended learning as an innovative organization of the educational process*. Retrieved from https://journals.pnu.edu.ua/index.php/jpnu/article/view/6733

ЦИФРОВА КУЛЬТУРА ТА ЕТИКА ОФІЦЕРА В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ: ЗАПОБІГАННЯ РЕПУТАЦІЙНИМ РИЗИКАМ У ЦИФРОВУ ЕПОХУ

Деміхова Світлана Василівна
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, викладач кафедри гуманітарних наук,
svitlanademikhova@gmail.com

DIGITAL CULTURE AND OFFICER ETHICS IN SOCIAL NETWORKS: PREVENTING REPUTATIONAL RISKS IN THE DIGITAL AGE

Svitlana Demikhova
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lecturer at the Department of Humanitarian Sciences,
svitlanademikhova@gmail.com

The paper examines an officer's digital culture as a vital professional competence under hybrid threats. It analyzes the ethics of military self-presentation on social media and its impact on the Armed Forces' reputation. Focus is placed on risks like metadata leaks and OSINT vulnerabilities. The study advocates for a "digital code of honor" and cyber hygiene in cadet training. The author proposes forming a conscious digital footprint as a tool for counter-propaganda and strategic communication.

Keywords: digital culture, military ethics, social networks, reputational risks, OSINT, cyber hygiene, self-presentation, digital age, strategic communications.

У момент появи у соціальних мережах (Facebook, Instagram, TikTok, X) будь-якої публікації вона перестає бути особистою справою. Необхідно розуміти, що межа між приватним життям офіцера і його службовою діяльністю у часі цифрової епохи нівельована. Майбутні офіцери не завжди усвідомлюють, що алгоритми збору даних (OSINT) аналізують й перетворюють приватну інформацію, їхній цифровий слід (Digital Footprint), на військову вразливість, що впливає на репутацію офіцера та його

військової кар'єру [2]. Персональний смартфон на інструмент розвідки противника перетворює нехтування етикою та правилами безпеки.

На критичне мислення та безпекову поведінку курсанта, у майбутному офіцера ЗСУ, впливає також «лайкозалежність». Через активність курсантів (звичайні «лайки» чи репости) агресор може виявляти зв'язки всередині підрозділів, вивчати психологічний стан особового складу, створювати мережі фейкових акаунтів з метою вкидів інформації для маніпулювання та вербування. Необдуманий контент стає зброєю в інформаційно-психологічних операціях. Таким чином на складник бойової готовності, а не просто на ввічливість у коментарях, перетворюється цифрова культура сучасного офіцера. Відповідно репутація держави на міжнародній арені, культура самопрезентації корелюється із рівнем інформаційної безпеки підрозділу, тому дана позиція не порушує конституційного права офіцера на свободу слова чи приватність у соцмережах. Питання не лише особисте, це частина іміджу Збройних Сил і колективної безпеки.

Автоматизовані IT-рішення (спеціальні OSINT-інструменти для самоаудиту та боти), котрі допомагають майбутньому офіцерові контролювати власний цифровий слід, існують, але головна мета: виховання цифрової культури, своєрідного «внутрішнього фільтра», що буде найефективнішим. Тому, навчаючи самопрезентації як інструменту стратегічних комунікацій, формуючи образ сучасного офіцера через медіа, доцільно акцентувати на культурі ведення дискусій, дотриманні військового етикету, відповідальності за контент.

Репутація офіцера може постраждати і без його участі. Наприклад, розвиток Deepfake-технологій. Але авдиторія швидко розпізнає фальшивку (діпфейк), якщо офіцер відомий виваженою поведінкою, то цифрова культура і сформована «чиста» репутація в мережі буде для нього імунітетом [1].

Якщо брати до уваги алгоритми шифрування соцмереж, то з технічної точки це питання до розробників. А з точки зору культури управління необхідно зосередитися на головній

вразливості – людському факторі.

З метою формалізації правил поведінки військових у соціальних мережах (на основі досвіду країн НАТО) необхідно: розробити цифровий кодекс честі; впровадити тренінги з OSINT-гігієни, навчаючи курсантів бачити свій профіль очима ворога; застосовувати автоматизовані інструменти перевірки, використовуючи ІТ-засоби для аналізу публікацій на предмет витоку конфіденційної інформації. Це перетворить кожного офіцера з потенційного джерела витоку інформації на надійну ланку системи стратегічних комунікацій [3].

Отже, цифрова культура офіцера є елементом професійної компетентності та національної безпеки, а високий рівень самопрезентації в мережі є потужною зброєю в інформаційній війні та запорукою довіри суспільства до армії.

Список використаних джерел

1. NATO Social Media Strategy (Updated 2024). NATO Public Diplomacy Division. URL: nato.int (дата звернення: 02.05.2026).

2. OSINT-технології в системі національної безпеки : монографія / уклад. С. М. Лаптєв та ін. Київ : Видавництво КНЕУ, 2025. 210 с.

3.Цифровий етикет та культура онлайн-комунікації : методичні рекомендації для слухачів вищих військових навчальних закладів. Львів : НАСВ, 2024. 38 с.

ІНТЕРАКТИВНЕ ТЕСТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ МЕДИЧНОЇ ОСВІТИ

Деркач Марина Сергіївна
Студентка 3 курсу кафедри 603 Національного аерокосмічного університету «ХАІ», m.s.derkach@student.khai.edu
Мандрікова Людмила Василівна
Кандидат технічних наук, доцент кафедри 603 Національного аерокосмічного університету «ХАІ», l.mandrikova@khai.edu

INTERACTIVE TESTING AS A MEANS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF POSTGRADUATE MEDICAL EDUCATION

Derkach Maryna Serhiivna
3rd year student of Department 603 of the National Aerospace University «KHAI», m.s.derkach@student.khai.edu
Mandrikova Lyudmila Vasylivna
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Department 603 of the National Aerospace University «KHAI», l.mandrikova@khai.edu

The role of interactive testing in increasing the efficiency of postgraduate medical education is considered. The functional capabilities of the MedOsvita educational system, which has the function of automated knowledge testing, are analyzed. The features of the development and testing of this platform are described. The advantages of introducing digital technologies into the process of continuous professional development of medical personnel.

Keywords: interactive testing, medical education, continuing professional development (CPD), information system.

Актуальність.

На сьогодні в Україні та в усьому світі швидко збільшується потреба в якісному та безперервному професійному розвитку (БПР) медичного персоналу. Сфера охорони здоров'я невпинно оновлюється – впроваджуються нові медичні протоколи,

з'являються сучасні методи лікування, інноваційне обладнання та нові препарати. Працівникам необхідно своєчасно адаптуватися до цих змін, щоб мати високий рівень надання медичних послуг та відповідати чинним вимогам Міністерства охорони здоров'я. Саме тому створення інтерактивної освітньої платформи для тестування є своєчасним рішенням.

Основна частина. Роль інформаційних систем у медичній освіті.

На сьогодні фахівці з інформаційних освітніх програм виділяють чотири стратегічні напрями розвитку професійної освіти: планування та постійне вдосконалення компетентностей випускників (молодших спеціалістів), оновлення й реструктуризація змісту основних освітніх програм, постійний розвиток і модернізація освітніх технологій, а також оцінювання та контроль якості результатів навчання [1].

В умовах воєнного стану та обмеженого доступу до традиційних форм навчання зростає значення мобільних застосунків і форматів мікронавчання. У роботах Н. Д. Козак та співавторів підтверджено, що короткі модульні формати сприяють залученню лікарів до БПР та підвищують мотивацію до навчання [2].

Таким чином, використання цифрових освітніх технологій у медицині створює передумови для впровадження інтерактивного тестування у системи для ефективного оцінювання професійних знань працівників.

Переваги інтерактивної системи тестування «MedOsvita».

В рамках кваліфікаційної роботи бакалавра Національного аерокосмічного університету «ХАІ» створено освітню інтерактивну платформу для оцінювання знань медичних працівників «MedOsvita» як складову для безперервного професійного розвитку лікарів.

Даний проєкт містить автоматизовану систему тестування, що є набором правил та кейсів, які використовуються для оцінювання знань після проходження модулів.

Функціональні можливості платформи:

— особистий кабінет користувача. Доступність проходження курсів та перспектива їх росту в професійному напрямку;

— створення та редагування навчальних курсів адміністраторами (з додаванням тексту, відео та тестів у модулі);

— модуль тестування знань. Проходження тестів після навчання з отриманням автоматичної оцінки відповідно до результатів;

— генерація сертифікатів після успішного завершення курсу, що відповідають постанові КМУ від 21 серпня 2019 року № 800 [3].

Розробка освітньої платформи виконана з врахуванням особливостей веб-систем, інтерактивних елементів та вимог до загальної системи «MedOsvita». Програмування коду на мові Python 3.11 виконувалось у середовищі розробки PyCharm. Серверна частина платформи побудована на мікрофреймворку Flask.

Для тестування інтерактивної освітньої платформи MedOsvita використано поєднання підходів Grey Box та Black Box testing, з акцентом на автоматизацію за допомогою фреймворку pytest. Такий підхід одночасно враховує внутрішню логіку системи (архітектуру Flask–додатку, роботу з БД, автентифікацію) та перевіряє функціональність з точки зору кінцевого користувача. Тестування включає перевірку маршрутів (routes), контролерів, middleware, генерацію сертифікатів за допомогою ReportLab та взаємодію з базою даних SQLite in memory.

Основні стани програми, у яких слід вносити різні вхідні дані у програму, наведено на спрощеному графі (рис.1).

Результати тестування підтвердили, що система відповідає функціональним та нефункціональним вимогам та успішно реалізує основні процеси, як навчальна платформа.

Під час тестування перевірено повний цикл роботи користувача із системою: авторизація, проходження навчальних курсів, тестування знань, генерація сертифікатів, а також адміністративний функціонал і механізми контролю доступу. Протестовані засоби забезпечують ефективну організацію

професійної підготовки медичних працівників.

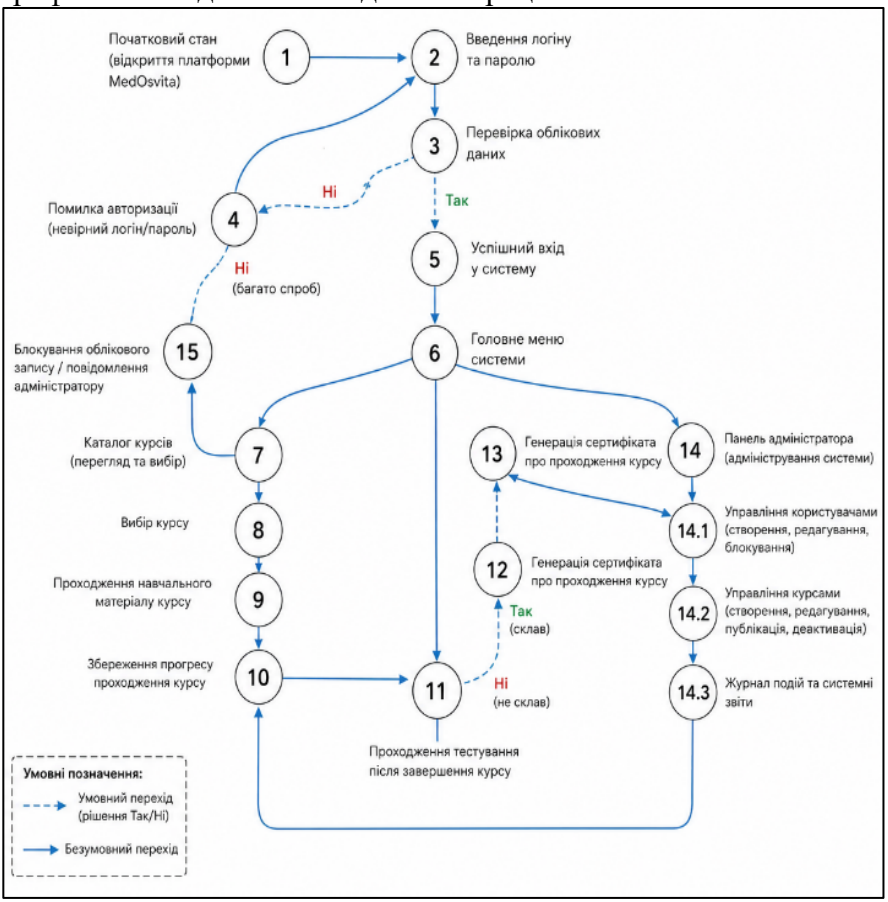


Рисунок 1. Спрощений граф станів ПЗ MedOsvita

Висновки.

Практичне використання платформи «MedOsvita» сприятиме покращенню навчального процесу в медицині та контролю знань, а також забезпечить швидкий доступ до актуальних навчальних матеріалів.

Особливу допомогу система надаватиме у підготовці медиків, які надають допомогу військовослужбовцям Збройних сил України, адже постійне оновлення знань медичного персоналу та підвищення кваліфікації у цій сфері безпосередньо впливають на точність діагностики, ефективність лікування та

збереження життя пацієнтів в умовах воєнного часу.

Список використаних джерел

1. Turlyun, T. S., & Sanina, N. A. (2023). Application of interactive learning technologies in medical education. Medical Education: Improving Higher Medical Education, 4, 58–63. https://ojs.tdmu.edu.ua/index.php/med_osvita/article/view/14235/13316;

2. Kozak, N., Zaychenko, G., Gorchakova, N., Doroshenko, A., & Kozak, D. (2023). Recent challenges in higher medical, military and medical education: sustainability trends in the prism of COVID-19 pandemic and Russian full-scale invasion 2022–2023. Current Aspects of Military Medicine, 30(2), 23-30. https://doi.org/10.32751/2310-4910-2023-30-2-02;

3. «Деякі питання підвищення кваліфікації педагогічних і науково-педагогічних працівників» Постанова Кабінету Міністрів України; Порядок від 21.08.2019 № 800. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/800-2019-п#Text;

4. Koval, B., Vuzh , T., & Yuriy, R. (2025). The Role of Information Technologies in Medical Education: an Analysis of Experience in Ukraine. International Conference on Next-Generation Innovations and Sustainability 2025. Futurity Research Publishing. https://doi.org/10.5281/zenodo.14882465;

5. Вєсова О.П., Кривошеєва А.І., Камінський В.В. (2026). Цифрові платформи для безперервного професійного розвитку лікарів у системі післядипломної медичної освіти. Український медичний часопис. https://umj.com.ua/uk/publikatsia-275803-tsifrovi-platformi-dlya-bezperervnogo-profesijnogo-rozvitku-likariv-u-sistemi-pislyadiplomnoyi-medichnoyi-osviti.

ЗАСТОСУНОК ІНТЕРАКТИВНА ГРА-ЛАБІРИНТ З ПРОЦЕДУРНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЄЮ АЛГОРИТМУ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ

Десятник Олексій Олександрович
Луцький національний технічний університет, здобувач вищої освіти, fkorvinn@gmail.com
Здолбіцька Ніна Василівна
Луцький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, ninazdolb@gmail.com

APPLICATION FOR INTERACTIVE MAZE GAME WITH PROCEDURAL GENERATION AND VISUALISATION OF THE SHORTEST PATH SEARCH ALGORITHM

Desyatnyk Oleksii Oleksandrovich
Lutsk National Technical University, higher education seeker, fkorvinn@gmail.com
Nina Vasylivna Zdolbitska
Lutsk National Technical University, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Science, ninazdolb@gmail.com

The paper presents a maze application that combines procedural generation and pathfinding visualization. Six generation algorithms and five search algorithms are implemented with step-by-step mode, comparative analytics, and a player mode.

Keywords: maze, pathfinding, BFS, A, Dijkstra, Prim, Kruskal, visualization, Python, Pygame.*

Алгоритми генерації лабіринтів і пошуку найкоротшого шляху широко застосовуються в комп'ютерних іграх, робототехніці та системах штучного інтелекту [1-3]. Попри наявність окремих інструментів для візуалізації пошуку або генерації, жоден з них не поєднує обидві задачі з модулем аналітики в єдиному середовищі. Саме тому розробка застосунку, який охоплює повний цикл роботи з лабіринтом, є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка застосунку для інтерактивної

генерації лабіринтів із покроковим аналізом алгоритмів пошуку оптимального шляху. Для реалізації обрано мову програмування Python та бібліотеку Pygame, які забезпечують високу продуктивність, зручну роботу з двовимірною графікою та обробку подій у реальному часі [4]. Python – потужна, проста у вивченні мова з великою кількістю бібліотек для роботи з графами та алгоритмами, що спрощує впровадження й тестування всього необхідного функціоналу [5].

У застосунку реалізовано шість алгоритмів генерації лабіринтів: Recursive Backtracking, Hunt and Kill, Kruskal, Binary Tree, Aldous-Broder та Prim. Кожен формує лабіринти різної структури – з довгими коридорами, короткими тупиками або рівномірним розподілом проходів. Передбачено два режими: досконалий лабіринт (єдиний шлях між будь-якими двома точками) та недосконалий (з циклами). Розмір сітки налаштовується від 11×15 до 91×131 клітинок, що забезпечує аналіз алгоритмів на структурах різного масштабу.

Модуль пошуку шляху містить п’ять алгоритмів: BFS, Dijkstra, A*, Greedy Best-First Search та Bidirectional BFS. Кожен реалізовано як генератор Python з оператором yield після обробки кожного вузла, що дозволяє здійснювати покрокову візуалізацію без блокування інтерфейсу. BFS рівномірно розходиться від стартової точки та гарантує знаходження найкоротшого шляху [6]. Dijkstra діє схожим чином, але враховує вагу ребер і підходить для лабіринтів із нерівномірними переходами [7]. A* завдяки евристичному пошуку відвідує значно меншу кількість клітинок [8], а Bidirectional BFS додатково скорочує простір пошуку завдяки одночасному просуванню від старту і фінішу.

Система побудована на основі ООП і складається з модулів генерації, пошуку шляху та візуалізації, об’єднаних спільною моделлю лабіринту. Для зберігання стану використовується файловий формат .npy бібліотеки NumPy, що забезпечує швидке завантаження матриці лабіринту між різними запусками алгоритмів без повторної генерації. Завдяки цьому користувач може спочатку самостійно пройти лабіринт, а потім порівняти власний результат із маршрутом, знайденим алгоритмом.

Розроблений застосунок усуває недоліки існуючих аналогів,

поєднуючи генерацію, пошук та аналітику в єдиному інтерактивному середовищі. Він може використовуватись як навчальний інструмент для студентів і розробників, що вивчають алгоритми на графах, а також як практичний засіб дослідження поведінки алгоритмів у різних умовах.

Список використаних джерел

1. Лавренчук С.В., Здолбіцька Н.В., Хамула Н.М. Програмний комплекс для візуалізації алгоритмів на графах. Вісник хмельницького національного університету серія: Технічні науки. Хмельницький, 2021, № 6. С.81-85.

2. Шолом П.С., Здолбіцька Н.В. Пропорційно-інтегрально-диференціальне управління стабільністю руху мобільного агента 3рі по заданій траєкторії. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Вип. 8. С. 125-130.

3. Здолбіцька Н.В., Сулім В.О., Вознюк А.В. Мультиагентна система маршрутизації на основі алгоритмів пошуку найкоротшого шляху в графі The 5th International scientific and practical conference "Science and innovation of modern world" (January 25-27, 2023) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2023. P.155-157

4. pygame.event – pygame v2.6.1 documentation. URL: https://www.pygame.org/docs/ref/event.html (дата звернення: 25.04.2026).

5. The Python Tutorial. Python Software Foundation. URL: https://docs.python.org/3/tutorial/index.html (дата звернення: 25.04.2026).

6. Time and Space Complexity of DFS and BFS Algorithm. GeeksforGeeks. URL: https://www.geeksforgeeks.org/dsa/time-and-space-complexity-of-dfs-and-bfs-algorithm/ (дата звернення: 25.04.2026).

7. Dijkstra's Shortest Path Algorithm. GeeksforGeeks. URL: https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-shortest-path-algorithm-greedy-algo-7/ (дата звернення: 25.04.2026).

8. A* Search Algorithm. GeeksforGeeks. URL: https://www.geeksforgeeks.org/dsa/a-search-algorithm/ (дата звернення: 25.04.2026).

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТАКСОНОМІЙ ТЕХНІК ПРОМПТИНГУ

Дієордіца Таяна-Лідія
IT Career HUB, провідний академічний експерт,
д-р пед.н., к.техн.н., доцент, tldeorditsa@gmail.com
Толмачов Володимир Сергійович
Глухівський НПУ, доцент кафедри технологічної і професійної освіти, к.техн.н., доцент, v.s.tolmachov@gmail.com

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTEMPORARY PROMPTING TECHNIQUE TAXONOMIES

Taiana-Lidiia Dieorditsa
IT Career HUB, Leading Academic Expert, Dr. Sc. (Education), Ph.D. (Engineering), docent, tldeorditsa@gmail.com
Volodymyr Tolmachov
Hlukhiv NPU, Assoc. Prof., Department of Technological and Professional Education, Ph.D. (Engineering), docent, v.s.tolmachov@gmail.com

The paper presents a comparative analysis of three prompting technique taxonomies for large language models (Sahoo et al., 2025; Liu et al., 2026; Schulhoff et al., 2025). The authors argue that taxonomy selection is a conceptual rather than a technical decision, determined by the role assigned to LLMs in the research system. The Schulhoff et al. taxonomy is selected as the most relevant for academic research in educational technology owing to its Self-Criticism cluster — six techniques for iterative output refinement. The practical potential of Self-Refine, one of these techniques, is illustrated through the task of improving an academic definition.

Keywords: large language models, taxonomy, prompting techniques, Self-Criticism, Self-Refine.

Стрімке зростання кількості технік промптингу для великих мовних моделей (LLM) призвело до суттєвої фрагментації знань: методи дублюються, термінологія розходиться, а системний вибір підходу ускладнюється. Якщо ще два роки тому домінувало кілька базових технік, то сьогодні дослідники стикаються

з сотнями варіацій — орієнтуватися в них без надійних класифікаційних рамок практично неможливо. У цій праці ми здійснили порівняльний аналіз трьох ключових таксономій 2024–2025 років, що відображають різні стадії зрілості підходу до промптингу: від практичного каталогу — через архітектуру агента — до систематичного огляду. Мета доповіді — обґрунтувати вибір таксономії для академічних досліджень у галузі освітніх технологій.

Перша з аналізованих таксономій — Sahoo et al. (2025) — пропонує прикладний каталог із 41 техніки, згрупованих за 12 сферами застосування. Акцент зроблено на методах структурованого міркування: Chain-of-Thought, Tree-of-Thoughts, Graph-of-Thoughts та понад 20 їх варіацій. Головна перевага — широта охоплення і низький поріг входу для практиків. Принципове обмеження — теоретична нейтральність: каталог фіксує техніки, але не пропонує критеріїв їх вибору.

Друга таксономія — Liu et al. (2026) — розглядає промптинг як багатоетапний конвеєр, розподілений за чотирма компонентами: Profile & Instruction, External Knowledge (зокрема RAG), Reasoning & Planning та Reliability. Така структура дає можливість аналізувати взаємодію компонентів у складній системі, що робить підхід особливо продуктивним для досліджень агентних систем. Проте стандартизація термінології та відтворюваність методів залишаються поза його завданнями.

Третя таксономія — Schulhoff et al. (2025) — вирізняється повнотою і науковою відтворюваністю: 58 текстових та 40 мультимодальних технік, виявлених за протоколом PRISMA, уніфікований глосарій із 33 термінів. Текстуальні техніки систематизовано у шести категоріях (табл. 1).

Для завдань дослідження в освітній галузі найбільш релевантною ми вважаємо останню таксономію — передусім завдяки кластеру Self-Criticism. Він охоплює шість технік ітеративного вдосконалення LLM власних результатів:

Self-Calibration — оцінювання згенерованої відповіді на коректність із визначенням показника достовірності результату;

Таблиця 1. Категорії текстуальних технік промптингу за таксономією Schulhoff et al.

№	*Категорія*	*Функція*
1	Zero-Shot	Прямі інструкції / запитання без прикладів
2	Few-Shot	Використання одного-кількох прикладів у промпті
3	Thought Generation	Покрокове мислення, Chain-of-Thought та похідні
4	Decomposition	Розбиття складної задачі на простіші підзадачі
5	Ensembling	Агрегування кількох незалежних відповідей
6	Self-Criticism	Самооцінювання, самокорегування, аналіз власної відповіді

Self-Refine — ітеративний цикл генерації, оцінювання за заданими критеріями і переписування результату;

Self-Verification — генерування кількох розв'язків з подальшим їх ранжуванням за логічною узгодженістю та відповідністю умові;

Chain-of-Verification — формулювання контрольних запитань до згенерованої відповіді та її уточнення на основі отриманих результатів;

Cumulative Reasoning — покрокова побудова ланцюжка міркувань із оцінюванням кожного кроку засобами тієї самої моделі перед переходом до наступного;

Reversing Chain-of-Thought — реконструювання умови задачі із згенерованої відповіді та її зіставлення з оригіналом для виявлення розбіжностей.

Серед технік кластера Self-Criticism ми найчастіше користуємося технікою Self-Refine. Її дидактичний потенціал ілюструє приклад вдосконалення дефініції терміна «штучний інтелект».

Вихідна дефініція: «*Штучний інтелект — це технологія, яка дозволяє комп'ютерам думати як люди і виконувати різні*

завдання».

Після двох ітерацій з промптом «Оціни цю дефініцію за термінологічною точністю, структурованістю та доступністю для студента-початківця, вияви недоліки і перепиши визначення, усунувши їх» результат набув наукової точності та коректності: «*Штучний інтелект — це галузь інформатики, що охоплює методи створення комп'ютерних систем, здатних виконувати завдання, які традиційно потребують людського інтелекту: розпізнавання образів, обробку природної мови, прийняття рішень і навчання на основі даних*».

Отже, Self-Refine перетворює взаємодію з LLM на керований ітеративний процес покращення тексту за заданими критеріями. Ітеративність і критеріальність підходу наближають його до практики експертного рецензування.

Проведений аналіз показує: вибір таксономії промптингу — не технічне, а концептуальне рішення, що визначається роллю LLM у дослідницькій системі. Таксономія за Sahoo et al. забезпечує широту охоплення і підходить для task-орієнтованих завдань; таксономія за Liu et al. — архітектурну глибину для агентних систем; таксономія за Schulhoff et al. — методологічну строгість і стандартизацію понятійного апарату для академічного дослідження.

Список використаних джерел

1. Liu, Y.-Y., et al. (2026). A comprehensive taxonomy of prompt engineering techniques for large language models. *Frontiers of Computer Science, 20*(3), 2003601. https://doi.org/10.1007/s11704-025-50058-z

2. Sahoo, P., et al. (2025). A Systematic Survey of Prompt Engineering In Large Language Models: Techniques and Applications. *arXiv:2402.07927v2*. https://arxiv.org/abs/2402.07927v2

3. Schulhoff, S., et al. (2025). The Prompt Report: A Systematic Survey of Prompt Engineering Techniques. *arXiv:2406.06608v6*. https://arxiv.org/abs/2406.06608v6

ВИКОРИСТАННЯ IBM SPSS STATISTICS У ПСИХОДІАГНОСТИЦІ

Злобін Владислав Олександрович
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, здобувач вищої освіти, zlobin.vladyslav@hneu.net
Норік Лариса Олексіївна
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, канд. екон. наук, доцентка кафедри економіко-математичного моделювання, larisa.norik@gmail.com

USE OF IBM SPSS STATISTICS IN PSYCHODIAGNOSTICS

Zlobin Vladyslav Oleksandrovych
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, student of Higher Education, zlobin.vladyslav@hneu.net
Norik Larisa Oleksiivna
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling, larisa.norik@gmail.com

The use of IBM SPSS Statistics in psychodiagnostics research is discussed as a key tool for processing and analyzing psychological data. The main capabilities of the program for statistical analysis, hypothesis testing, and data visualization are outlined. The role of SPSS in improving the accuracy and objectivity of psychological research is emphasized.

Keywords: psychodiagnostics; statistical analysis; IBM SPSS Statistics; psychological research; data processing; psychometrics.

У сучасних умовах статистична грамотність і вміння працювати з програмами обробки даних стають важливими складовими професійної компетентності психолога. Саме використання цифрових технологій дозволяє підвищити точність результатів дослідження, мінімізувати ймовірність математичних

помилок та забезпечити більш об'єктивну інтерпретацію отриманих показників.

Одним із найбільш поширених програмних засобів для статистичної обробки психологічної інформації є статистичний пакет IBM SPSS Statistics (Statistical Package for the Social Sciences – SPSS), який широко використовують у психологічних, педагогічних, соціологічних та медичних дослідженнях. Його функціональні можливості забезпечують ефективне опрацювання великих масивів емпіричних даних, проведення статистичних розрахунків та автоматизацію аналітичних процедур. На відміну від ручної обробки результатів, використання SPSS дозволяє значно скоротити час аналізу та підвищити достовірність наукових висновків.

У психодіагностичній практиці SPSS застосовують для статистичної обробки результатів тестування, анкетування та психологічного опитування. Програма дозволяє визначати середні значення показників, аналізувати варіативність результатів, виявляти взаємозв'язки між психологічними характеристиками та здійснювати порівняння різних вибірок досліджуваних. Завдяки цьому психолог отримує можливість більш точно й об'єктивно оцінювати результати дослідження та формулювати науково обґрунтовані висновки.

Одним із важливих напрямів використання статистичних методів у психології є перевірка гіпотез та узагальнення результатів досліджень. Зокрема, сучасні аналітичні підходи, включно з мета-аналізом, можуть реалізовуватися із застосуванням SPSS, що дозволяє підвищити точність статистичних висновків та систематизувати результати різних досліджень [1]. Особливого значення у процесі досліджень набуває оцінка якості вимірювальних інструментів. Сучасні психометричні дослідження підкреслюють необхідність перевірки факторної структури, конструктної валідності та інваріантності вимірювань психологічних шкал, що забезпечує надійність отриманих результатів [2].

Практичний аспект використання SPSS полягає у поетапній організації процесу статистичної обробки психологічних даних.

На першому етапі дослідник формує базу емпіричних даних та вводить результати діагностичного дослідження у відповідні таблиці. Після цього здійснюють кодування змінних, визначення типів даних та вибір статистичних критеріїв відповідно до мети дослідження. Наступним етапом є проведення статистичного аналізу, який може включати різноманітні методи. Важливим етапом статистичного опрацювання результатів є їх візуалізація.

Застосування статистичного SPSS Statistics у психологічних дослідженнях можна продемонструвати на прикладі сучасних емпіричних робіт, присвячених аналізу психологічних показників студентської молоді. Зокрема, у дослідженні [3] автори використали статистичні методи для визначення взаємозв'язку між емоційним інтелектом, академічним стресом та професійним вигоранням студентів-медиків. Отримані емпіричні дані були систематизовані та оброблені із застосуванням статистичного програмного забезпечення SPSS, що забезпечило точність розрахунків і наукову достовірність результатів дослідження. У межах дослідження автори за допомогою IBM SPSS Statistics здійснювали описову статистику основних показників, аналіз середніх значень та стандартних відхилень, а також кореляційний аналіз для виявлення статистично значущих взаємозв'язків між змінними. Використання програмного пакета дозволило дослідникам визначити рівень впливу емоційного інтелекту на прояви академічного стресу та емоційного вигорання, а також здійснити перевірку статистичних гіпотез щодо досліджуваних психологічних феноменів. Крім того, застосування SPSS забезпечило можливість автоматизованої візуалізації результатів дослідження у вигляді таблиць і статистичних показників, що значно полегшило інтерпретацію отриманих даних та формулювання науково обґрунтованих висновків.

Подібний підхід до статистичної обробки психологічних даних представлено також у дослідженні [4], присвяченому вивченню взаємозв'язку між емоційним інтелектом, професійним вигоранням та супутніми психологічними чинниками у студентів медичних спеціальностей. У роботі автори застосували IBM SPSS Statistics для проведення описового статистичного аналізу, оцінки

кореляцій між змінними та перевірки статистичної значущості отриманих результатів. Використання SPSS дозволило дослідникам систематизувати великий обсяг емпіричних даних, підвищити точність математичних розрахунків та забезпечити об'єктивність інтерпретації психологічних показників. Отримані результати підтвердили важливу роль емоційного інтелекту як чинника, що впливає на рівень психологічного благополуччя та професійного вигорання студентів.

Отже, використання статистичного інструментарію SPSS дозволяє удосконалити процес психодіагностики, підвищити якість психологічних досліджень і сприяти розвитку доказового підходу в психології.

Список використаних джерел

1. Sen, S., & Yildirim, I. (2022). A tutorial on how to conduct meta-analysis with IBM SPSS Statistics. *Psych, 4*(4), 640–667. https://doi.org/10.3390/psych4040049

2. Spinoni, M., Zagaria, A., Pecchinenda, A., & Grano, C. (2024). Factor structure, construct validity, and measurement invariance of the Neuroception of Psychological Safety Scale (NPSS). *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education, 14*(10), 2702–2715. https://doi.org/10.3390/ejihpe14100178

1. Tariq, M., Javed, K., Tariq, J., Shahbaz, H., & Butt, A. S. (2025). Emotional intelligence as a predictor of academic stress and burnout among medical students. *Journal of Aziz Medical and Dental College, 7*(4), 165–169. https://doi.org/10.51127/JAMDCV07I04OA03

2. Taylor, M. J., Andreatta, R., Woltenberg, L., Cormier, M., & Hoch, J. M. (2024). Emotional intelligence, burnout, and related factors in healthcare profession students. *Nurse Education Today, 143*, 106387. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2024.106387

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ОБРОБКИ ДАНИХ У ПСИХОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ: ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ U-КРИТЕРІЮ МАННА–ВІТНІ В MS EXCEL

Карпіка Дар'я Миколаївна
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, здобувачка вищої освіти, karpika.daria@hneu.net
Норік Лариса Олексіївна
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, канд. екон. наук, доцентка кафедри економіко-математичного моделювання, larisa.norik@gmail.com

DIGITAL DATA PROCESSING TOOLS IN PSYCHOLOGICAL RESEARCH: PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE MANN–WHITNEY U TEST IN MS EXCEL

Karpika Daria Mykolaivna
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, student of Higher Education, karpika.daria@hneu.net
Norik Larisa Oleksiivna
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling, larisa.norik@gmail.com

This paper examines the use of digital data-processing tools in psychological research, focusing on the practical implementation of the Mann–Whitney U test in Microsoft Excel. The main stages of statistical data processing are described, and the effectiveness of MS Excel in automating calculations and improving analysis accuracy is demonstrated. Statistically significant differences between groups in emotional intelligence indicators were found.

Keywords: psychological research, MS Excel, Mann–Whitney U test, nonparametric methods, emotional intelligence

У сучасних психологічних дослідженнях швидкий розвиток

цифрових технологій значною мірою змінив підходи до збору, обробки та аналізу даних. Використання цифрових інструментів підвищує точність і ефективність статистичних обчислень, а також забезпечує відтворюваність і прозорість результатів. Серед програмних засобів особливе місце займає MS Excel завдяки своїй універсальності, простоті використання та широким можливостям для аналізу даних.

Одним із ключових завдань у психології є порівняння незалежних вибірок, особливо коли дані не відповідають припущенням параметричних методів. У таких випадках важливими стають непараметричні статистичні критерії, зокрема U-критерій Манна–Вітні [1–2]. Вибір цього критерію обумовлений його стійкістю до порушень параметричних припущень і можливістю застосування до порядкових та кількісних даних, властивих психологічним вимірюванням. Важливим є практичне використання непараметричних методів за допомогою сучасного програмного забезпечення, що поєднує теорію статистичного аналізу з її прикладною реалізацією. Це підкреслює необхідність емпіричної перевірки ефективності таких інструментів у реальних дослідницьких умовах.

Емпіричну основу дослідження становили результати обстеження 41 респондента віком 18–23 років. Відповідно до дослідницького задуму, для здійснення порівняльного аналізу було сформовано дві незалежні групи – маскулінну й фемінну. Основним завданням дослідження стало виявлення статистично значущих відмінностей між цими групами за показниками емоційного інтелекту.

Обробка емпіричних даних здійснювалася із застосуванням програмного середовища MS Excel, яке дозволяє ефективно реалізувати основні етапи непараметричного аналізу. На першому етапі було сформовано структуровану базу даних у вигляді електронної таблиці, де кожен респондент представлений окремим записом, а кожен показник – окремою змінною. Такий підхід забезпечує логічну впорядкованість інформації, спрощує подальшу обробку даних і зменшує ризик помилок, пов’язаних із неструктурованим введенням. Наступним етапом стало

ранжування отриманих значень, що є обов'язковою процедурою при застосуванні U-критерію Манна–Вітні. У середовищі MS Excel цей процес було автоматизовано за допомогою функції RANK.AVG, яка дозволяє присвоювати середні ранги у випадку однакових значень. Використання цієї функції має суттєві переваги, оскільки забезпечує автоматичне оновлення результатів при зміні вихідних даних, що значно знижує трудомісткість обчислень порівняно з ручним ранжуванням і зменшує ймовірність арифметичних помилок. Після виконання ранжування було здійснено розподіл даних за досліджуваними групами та обчислення сум рангів для кожної з них. Для цього застосована функція SUMIF, яка дає змогу швидко агрегувати значення відповідно до заданої умови. Такий підхід дозволяє уникнути ручного відбору даних і забезпечує високу точність та відтворюваність результатів. На основі отриманих сум рангів було обчислено значення U-критерію Манна–Вітні. Додатково було здійснено оцінку статистичної значущості отриманих значень, використовуючи відповідні критичні рівні.

Результати аналізу засвідчили наявність статистично значущих відмінностей між маскулінною та фемінною групами за окремими компонентами емоційного інтелекту. Зокрема, за шкалою «самомотивація» отримано значення $U = 81{,}5$ ($p < 0{,}01$), що свідчить про високий рівень статистичної значущості, тобто ймовірність випадкового виникнення виявлених відмінностей є меншою за 1 %. За шкалою «управління емоціями» зафіксовано $U = 118{,}5$ ($p < 0{,}05$), що також підтверджує наявність статистично значущих розбіжностей, де ймовірність випадковості не перевищує 5 %. Також встановлено значущі відмінності за інтегральним показником емоційного інтелекту ($U = 104$; де $p < 0{,}01$), що додатково підтверджує достовірність отриманих результатів.

Отримані результати не лише підтверджують наявність відмінностей між досліджуваними групами, а й демонструють ефективність застосування U-критерію Манна–Вітні для аналізу незалежних вибірок. Використання цього методу дозволило коректно оцінити міжгрупові відмінності та отримати

статистично обґрунтовані висновки, що підкреслює його практичну значущість у психологічних дослідженнях.

Важливою перевагою використання MS Excel у контексті проведення статистичного аналізу є можливість автоматичного оновлення результатів у разі зміни вихідних даних. Це особливо актуально для психологічних досліджень, де можливе уточнення вибірки або корекція показників. У таких умовах усі обчислення перебудовують автоматично без необхідності повторного виконання повного алгоритму аналізу.

Окремої уваги заслуговує можливість візуалізації даних, яку надає MS Excel. Побудова діаграм і графіків на основі вже структурованих таблиць дозволяє поєднати кількісний і наочний аналіз, що значно полегшує інтерпретацію результатів і підвищує їхню інформативність. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню якості представлення результатів дослідження та їхній зрозумілості для широкого кола читачів, включно з дослідниками, викладачами та здобувачами освіти.

Отже, інтеграція класичних статистичних методів із сучасними цифровими інструментами відкриває нові можливості для підвищення якості емпіричних досліджень, забезпечуючи їхню точність, відтворюваність і методичну прозорість.

Список використаних джерел

1. Su, W. (2026). Continuous variable analyses: t-test, Mann–Whitney U test, and Wilcoxon signed-rank test. In A. E. M. Eltorai, J. A. Bakal, & M. Ahmad (Eds.), *Handbook for designing and conducting clinical and translational research: Translational neurosurgery* (pp. 87–90). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90509-1.00023-0

2. Kelter, R. (2021). Bayesian and frequentist testing for differences between two groups with parametric and nonparametric two-sample tests. *WIREs Computational Statistics, 13*, e1523. https://doi.org/10.1002/wics.1523

ФОРМУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ У ПРОЦЕСІ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ШІ-КОНТЕНТУ

Кисельова Олеся Борисівна
Комунальний заклад «Харківська гуманітарно-педагогічна академія» Харківської обласної ради, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики, o.kyselyova@gmail.com
Хміль Наталія Анатоліївна
Комунальний заклад «Харківська гуманітарно-педагогічна академія» Харківської обласної ради, доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інформатики, nkravc0@gmail.com

FORMATION OF SOCIAL-DIGITAL COMPETENCIES OF FUTURE INFORMATICS TEACHERS IN THE PROCESS OF CREATING AI-BASED MULTIMEDIA CONTENT

Kyselova Olesia Borysivna
Municipal Establishment «Kharkiv Humanitarian-Pedagogical Academy» of Kharkiv Regional Council, Candidate of Pedagogic Sciences, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Science, o.kyselyova@gmail.com
Khmil Nataliia Anatoliivna
Municipal Establishment «Kharkiv Humanitarian-Pedagogical Academy» of Kharkiv Regional Council, Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer Science, nkravc0@gmail.com

The theses examine the development of digital and social competencies of future computer science teachers through the creation of multimedia AI content. The study highlights the role of artificial intelligence in collaborative learning, digital communication, and the formation of social competence. The use of AI technologies promotes creativity, critical thinking, teamwork, and responsible interaction in digital educational environments.

Keywords: artificial intelligence, multimedia content, social

competence, digital competence, future computer science teachers, generative AI.

Сучасний етап розвитку освіти характеризується активним упровадженням цифрових технологій та штучного інтелекту в освітній процес. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема підготовки майбутніх учителів інформатики до ефективного використання ШІ-технологій у професійній діяльності. Одним із важливих напрямів такої підготовки є формування компетентностей у процесі створення мультимедійного ШІ-контенту, здатного забезпечити не лише візуалізацію навчального матеріалу, а й розвиток соціальної взаємодії здобувачів освіти [1, 3].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підготовки педагогів, які володіють сучасними цифровими інструментами та здатні організовувати освітній процес у цифровому середовищі відповідно до потреб інформаційного суспільства. Сучасні дослідження засвідчують, що використання генеративного штучного інтелекту сприяє розвитку творчості, критичного мислення, комунікації та навичок співпраці [2, 4]. Водночас важливим завданням залишається формування соціальної компетентності майбутніх учителів, що передбачає здатність до ефективної комунікації, командної взаємодії, цифрової етики та відповідального використання ШІ [5].

Метою роботи є обґрунтування підходів до формування соціально-цифрової компетентностей майбутніх учителів інформатики у процесі створення мультимедійного контенту із застосуванням технологій штучного інтелекту.

У межах дослідження соціальна компетентність розглядається як інтегрована характеристика особистості, що включає когнітивний, комунікативний, емоційно-ціннісний, поведінково-діяльнісний та рефлексивний компоненти. Її розвиток у процесі створення мультимедійного ШІ-контенту забезпечує формування навичок співпраці, цифрової комунікації, аргументації та відповідальної взаємодії в інформаційному середовищі.

Особливу увагу приділено використанню генеративних ШІ-сервісів для створення текстового, графічного, аудіо- та відеоконтенту. Практична діяльність із розроблення мультимедійних матеріалів сприяє розвитку творчого мислення, цифрової грамотності та вмінь організовувати колективну діяльність. Водночас застосування ШІ-технологій дозволяє моделювати соціальні ситуації, організовувати проєктну діяльність і формувати навички ефективної взаємодії в команді [1, 6].

Ефективне формування соціально-цифрової компетентності майбутніх учителів інформатики передбачає: оволодіння сучасними ШІ-інструментами створення мультимедійного контенту; розвиток навичок цифрової комунікації та колаборативного навчання; формування здатності критично оцінювати результати роботи ШІ; дотримання принципів цифрової етики та академічної доброчесності; розвиток готовності до використання мультимедійного ШІ-контенту в освітньому процесі.

Модель формування соціально-цифрової компетентності майбутніх учителів інформатики доцільно розглядати як цілісну дидактичну систему, що інтегрує соціальну взаємодію, цифрові інструменти та діяльнісне навчання в межах інформатичного циклу (рис. 1). Реалізація моделі відбувається через сценарно орієнтовані практичні та лабораторні заняття, побудовані за принципом «цифрової навчальної події». Кожен сценарій має чітку структуру: постановка проблеми, розподіл ролей у групі, виконання завдання з використанням цифрових або ШІ-інструментів, спільне створення продукту та рефлексія. Наприклад, «AI-контент студія», «Цифровий педагогічний кейс», «Колаборативна лабораторія даних», «Соціально-цифровий проєкт» тощо. Завершальним елементом кожного заняття є рефлексія, що забезпечує розвиток критичного мислення, цифрової етики та навичок соціальної взаємодії в цифровому середовищі.

Рисунок 1. Модель формування соціально-цифрової компетентності майбутнього вчителя

Результати дослідження свідчать, що інтеграція ШІ-технологій у підготовку майбутніх учителів інформатики сприяє комплексному розвитку їхніх професійних, зокрема соціально-цифрової, компетентностей, а також забезпечує готовність до організації інноваційного освітнього середовища.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні методичних моделей підготовки майбутніх учителів інформатики до створення мультимедійного ШІ-контенту та визначенні критеріїв оцінювання рівня сформованості соціально-цифрової компетентності.

Список використаних джерел

1. UNESCO. *Guidance for generative AI in education and research*. Paris : UNESCO Publishing, 2023. 44 p.

2. OECD. Artificial Intelligence in Education: Opportunities, Risks and Policy Implications. Paris: OECD Publishing, 2023.

3. Holmes W., Tuomi I. State of the Art in AI and the Future of Education. *European Commission*, Joint Research Centre, 2023.

4. Selwyn N. Education and AI: Key Issues and Debates. London: Routledge, 2024.

5. UNESCO. Artificial Intelligence Competency Framework for Teachers. Paris: UNESCO, 2024.

6. OECD. Digital Education Outlook 2024: Towards Human-Centred AI in Education. Paris: OECD Publishing, 2024.

ПІДВИЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ МОТИВАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ В УМОВАХ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

Козубцов Ігор Миколайович
Луцький національний технічний університет, д.п.н., с.н.с., професор кафедри комп'ютерних наук, i.kozubtsov@lntu.edu.ua

INCREASING STUDENTS' MOTIVATION IN A BLENDED LEARNING ENVIRONMENT

Kozubtsov Igor Mykolayovych
Lutsk National Technical University, Doctor of Pedagogical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department of Computer Science, i.kozubtsov@lntu.edu.ua

The report highlights the role of the instructor in fostering positive learning motivation among students. The aim of the report is to validate the results of an informal experiment designed to develop methods for enhancing students' learning motivation in a blended learning environment. To this end, the report proposes integrating social media into the educational process to facilitate informal communication. Thus, the use of social networks has made it possible to establish informal communication in the digital space and increase students' motivation to learn in a blended learning environment. For informal communication in the digital space to function successfully, it is essential that all participants adhere to cyber hygiene and develop a digital culture of communication.

Keywords: student, motivation, learning, social media, approaches, blended learning model, digital technologies.

Цифрова трансформація освіти перетворює цифрові технології на фундаментальний засіб розв'язання завдань, що постають перед системою освіти. Саме тому важливо усвідомлювати, що цифровізація освіти не може обмежуватися лише створенням електронних копій паперових підручників або простим перенесенням навчального процесу в цифрове середовище. Необхідно змінювати сутнісний підхід до освіти в цілому. Ця обставина змушує викладачів змінити стиль роботи та організацію навчального процесу, і відповідно підходи до

підвищення навчальної мотивації студентів. В умовах цифрової трансформації освіти викладач активно шукає форми взаємодії зі студентами для підвищення їхньої мотивації, у тому числі в електронному середовищі [1]. Актуальність дослідження питання полягає у застосуванні нових форм роботи зі студентами в умовах війни – дистанційної та змішаної форми навчання, що ведуть до серйозних змін у системі вищої освіти. У цій ситуації успішність навчання, безумовно, залежить від якості організації освітнього процесу та підвищення мотивації студентів під час навчання в умовах змішаного навчання.

Метою доповіді є апробація результатів неформального експерименту з розробки засобів підвищення навчальної мотивації студентів під час навчання в умовах змішаного навчання-і адаптованої до умов військового стану.

Для підвищення навчальної мотивації студентів під час навчання в умовах змішаного навчання були інтегровані соціальні мережі. Соціальні мережі – це найдоступніше та найзручніше електронне середовище взаємодії студентів та викладача, яке, по-перше, компенсує зменшення «живого» спілкування в соціальному суспільстві, по-друге, дозволяє здійснювати різні види взаємодії (письмові та голосові повідомлення) [2].

Взаємодія із студентами дозволяє розробити кілька стратегічних кроків використання соціальних мереж в освітньому процесі:

1. Підготовка. Викладач заздалегідь планує всі види діяльності, розробляє потрібні матеріали, чіткі інструкції та вказує на сервіс проведення онлайн-заняття (Zoom, Google Meet, Discord, BigBlueButton, та ін.). Вибрана соціальна мережа дозволяє отримувати та передавати запрошення на онлайн-заняття/консультацію із зазначенням дати та часу.

2. Вибір другого каналу. Під час проведення онлайн-заняття на офіційній платформі закладу освіти завжди необхідно мати другий канал зв'язку (месенджер у соціальних мережах, Viber, WhatsApp), що дозволяє оперативно взаємодіяти викладачам і тим, хто навчається між собою при виникненні будь-яких технічних проблем.

3. Складання розкладу. Проведення онлайн-занять має враховувати багато аспектів, у тому числі й побутове життя викладача та студентів. Тому при складанні розкладу пропонується кілька варіантів часу проведення занять/консультацій, і студенти голосують за найбільш зручний для них із запропонованих варіантів у вибраній соціальній мережі у групі, створеній викладачем.

4. Застосування заохочення. Використання анімаційних картинок, постів про успіхи та досягнення студентів у групі викладача обраної соціальної мережі, по-перше, робить спілкування менш формальним на відміну від офіційного освітнього середовища ЗВО; по-друге, викликає позитивні емоції у студентів та, у свою чергу, підвищує мотивацію студентів.

Досвід інтеграції соціальних мереж продемонстрував, що викладачам вдалося зберегти не лише кількість студентів, а й координувати та підтримувати їхню активність у навчальному процесі на належному рівні, допомагати студентам у позанавчальній діяльності. Всім учасникам освітнього процесу довелося поміняти і формат, і стиль взаємодії, які стали менш формальними, але такими, що активно мотивують студентів.

Оскільки в ЛНТУ для реалізації процесу навчання в умовах змішаного навчання використовується платформа LMS Moodle, то для були розроблені такі принципи підвищення мотивації студентів.

1. Принцип комфортності. Викладач задає тон спілкуванню в електронному середовищі, тобто прояв культури, ввічливості, доброзичливості стає невід'ємною якістю комунікацій, що забезпечує принцип комфортності, а оскільки електронне середовище, що звичне і близьке за духом сучасному поколінню студентів, комфортні комунікації, стають мотивуючим фактором.

2. Принцип заохочення. Заохочення – найсильніший мотивуючий принцип будь-якої людини.

3. Принцип чесності. Є ймовірність, що студенти не самостійно виконують завдання, тому щоб спонукати їх чесно працювати в електронному середовищі, необхідно до кожного аудиторного заняття включати міні експрес-перевірку/тестування.

4. Принцип прозорості реалізується за допомогою рейтингової системи оцінювання виконання завдань, яка показує студенту критерії оцінювання всіх завдань.

5. Принцип зворотного зв'язку дозволяє налагодити прямий контакт студентів з викладачем за допомогою чату, соціальних мереж, в результаті чого впевнені, що їхня робота «дійшла» до викладача і буде об'єктивно оцінена.

Для успішного функціонування неформальної комунікації в цифровому просторі неодмінно необхідно дотримуватися кібергігієни всіма учасниками та розвивати цифрову культуру спілкування [3; 4]. Таким чином, застосування соціальних мереж дозволило створити неформальну комунікацію в цифровому просторі та підвищити навчальну мотивацію здобувачів освіти при навчанні в умовах змішаного навчання.

Список використаних джерел

1. Ліщина В., Козубцов І., Козубцова Л. Вибір педагогічних технологій навчання як ключова проблема викладач – суб'єкта освітнього процесу. Міжнародна науково-методична конференція «*Інноваційні технології у військовій освіті*», (Одеса, 25 червня 2021 р.). Одеса: Військова академія. 2021. С. 225 – 226.

2. Посібник з питань використання соціальних мереж. Київ: Департаментом преси і публічної інформації Консультативної місії ЄС в Україні, EUAM Ukraine, 2020. 47 с.

3. Козубцов І.М., Самелюк В.П., Явич М.П. Огляд дефініції кібергігієни у науковій літературі та суспільних думок. Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції з проблем вищої освіти і науки «*Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві* (ІТОНВ-2023)» (Луцьк, 25-26 травня 2023 р.). Луцьк: відділ іміджу та промоції ЛНТУ, 2023. С. 301 – 304.

4 Козубцов І.М. Напрямки формування у здобувачів педагогічних закладів вищої освіти культури «цифрового» етикету. *Освіта дорослих: теорія, досвід, перспективи: зб. наук. пр*. 2023. Вип. 2 (24). С.89–99.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «ВИЩА МАТЕМАТИКА»

Козубцова Леся Михайлівна
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, к.т.н., доцент, завідувач кафедри фундаментальних дисциплін, lesia.kozubtsova@viti.edu.ua

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DISTANCE LEARNING IN THE SUBJECT "ADVANCED MATHEMATICS"

Kozubtsova Lesya Mykhailivna
Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunications and Informatization, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Fundamental Disciplines, lesia.kozubtsova@viti.edu.ua

The report highlights the nature and characteristics of distance learning as a modern form of organizing the educational process based on the use of information and communication technologies. It explores the practical aspects of organizing distance learning in the discipline of "Advanced Mathematics," specifically using the Moodle and Google Meet platforms. The report identifies the main advantages of online learning, including the accessibility of educational resources, interactivity, the possibility of individualization, and remote assessment of knowledge. At the same time, the disadvantages associated with mediated communication, technical dependence, and assessment limitations are analyzed. Thus, the aim of this paper is to justify the feasibility of combining distance learning with traditional forms in the context of the digital transformation of education.

Keywords: distance learning, higher mathematics.

У сучасному світі крім традиційного навчання в все більше запроваджується дистанційне навчання (d-Learning). Відповідно, під дистанційним навчанням розуміють: форму навчання, що базується на використанні широкого спектру традиційних і нових інформаційних технологій та їх технічних засобів, які залучаються для подання навчального матеріалу, його

самостійного вивчення, організації діалогового обміну між викладачем і здобувачем; навчання на відстані, яке здійснюється за допомогою сучасних комп'ютерних і телекомунікаційних технологій у реальному часі, або асинхронно.

На практиці ДН часто ототожнюють з такими поняттями як «мобільне», «онлайн», «електронне» та «віртуальне навчання», проте ці поняття важко розмежувати [1]. ДН особливої популярності набуло у Європі та США. В Україні дистанційне навчання набуло особливого розвитку в умовах цифрової трансформації освіти та безпекових викликів останніх років. У Військовому інституті телекомунікації та інформатизації імені Героїв Крут для дистанційного навчання використовується платформа Moodle та заняття проводяться за допомогою Google Meet [1].

Дистанційне навчання залежить не тільки від учасників освітнього процесу, але і від технічних можливостей засобів навчання та програмного забезпечення.

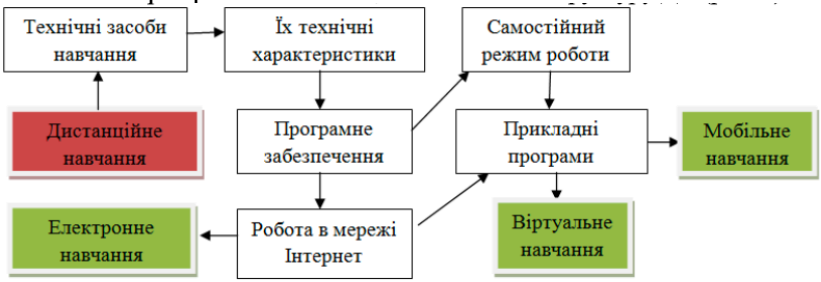


Рисунок 1. Фрагмент структури дистанційного навчання

Тому, використання електронних засобів в режимі «онлайн» надає, на наш погляд, такі переваги навчанню вища математика: 1) швидкий та легкий доступ до інформації, тобто до бази знань, що міститься в мережі інтернет; 2) інтерактивна взаємодія між викладачем та здобувачем в режимі діалогу, що у деяких випадках може наближатися до діалогової взаємодії у традиційних навчальних технологіях; 3) перевірка та контроль знань на відстані, зокрема проходження тестів; 4) наочна відео–демонстрація навчального матеріалу; 5) індивідуалізація навчання; 6) можливість спільного навчання через обмін та

спільне використання освітнього контенту кількома пов’язаними між собою користувачами.

Використання на практиці онлайн-навчання вищої математики має, на наш погляд, і ряд недоліків, порівняно із традиційним оф-лайн навчанням [2; 3]: 1) взаємодія між здобувачем та викладачем відбувається за допомогою електронної пошти з втратами часу на регулярну перевірку пошти; 2) комунікація між учасниками освітнього процесу відбувається лише через точку доступу до мережі Інтернет; 3) зворотній зв'язок між викладачем та здобувачем є не прямими, а опосередкованим через електронну пошту; 4) оцінювання та контроль знань обмежені у часі, у стандартній тестовій формі.

Таким чином, дистанційне навчання з дисципліни «Вища математика» має як значні переваги, так і певні обмеження. Його ефективність значною мірою залежить від методичного забезпечення курсу, рівня цифрової компетентності учасників освітнього процесу та оптимального поєднання дистанційних і традиційних форм навчання. Перспективним напрямом є розвиток змішаного навчання, яке дозволяє поєднати переваги обох підходів.

Список використаних джерел

1. Козлакова Г., Сусь Б., Коваленко О., Іванова Ю., Ставицька І. Дистанційна вища технічна освіта в умовах карантину. *Вища освіта України*. 2023. №2. С. 67–74.

2. Якунін А.В. Курс «вища математика» в бінарному середовищі дистанційного навчання. *Актуальні проблеми системи освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти*. 2025. № 1 (5). С. 698–709.

3. Петрук В.А., Клєопа І.А. Дистанційне навчання вищої математики студентів технічного університету. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2021. Вип. 60. С. 290–299.

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИКЛАДАННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ

Крадінова Тетяна Адамівна
ЛНТУ, к.т.н., доцент кафедри штучного інтелекту та математичного моделювання, rimta@ukr.net
Гуда Оксана Вікторівна
ЛНТУ, к.т.н., доцент кафедри штучного інтелекту та математичного моделювання, gudaoksana@lutsk-ntu.com.ua

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING HIGHER MATHEMATICS

Kradinova Tetiana
Lutsk National Technical University, Department of Artificial Intelligence and Mathematical Modeling, PhD, Associate Professor, rimta@ukr.net
Huda Oksana
Lutsk National Technical University, Department of Artificial Intelligence and Mathematical Modeling, PhD, Associate Professor, gudaoksana@lutsk-ntu.com.ua

This article explores AI integration in higher mathematics education. AI shifts the instructor's role to a facilitator while acting as a "cognitive exoskeleton" for students. Key aspects include personalized learning, automated symbolic computation via LLMs, and interactive visualization. The authors address challenges like "black box" errors and skill atrophy, emphasizing that AI frees students from routine calculus to focus on conceptual analysis and creative problem-solving.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Higher Mathematics, Adaptive Learning, Personalized Education, Mathematical Modeling, STEM Education.

Сучасний розвиток інформаційних технологій суттєво змінює систему освіти. Одним із найважливіших напрямів цифрової трансформації є використання штучного інтелекту (ШІ) у навчальному процесі. Особливо актуальним це стає у

викладанні вищої математики — дисципліни, яка потребує високого рівня абстрактного мислення, логіки та індивідуального підходу до навчання студентів.

Традиційна методика викладання вищої математики часто стикається з проблемою «когнітивного перевантаження», коли студенти витрачають весь ресурс на рутинні обчислення, втрачаючи суть концепцій. ШІ дозволяє змінити роль викладача з «джерела знань» на «фасилітатора», який спрямовує дослідницьку діяльність студента.

Штучний інтелект відкриває нові можливості для підвищення ефективності викладання, автоматизації рутинних процесів, персоналізації навчання та розвитку математичних компетентностей студентів.

Однією з головних переваг ШІ є можливість адаптації навчального матеріалу до індивідуальних особливостей студента. Інтелектуальні системи аналізують рівень знань, швидкість засвоєння матеріалу та типові помилки, після чого пропонують завдання відповідної складності. ШІ дозволяє реалізувати модель навчання «один на один» у масштабах цілого потоку. Наприклад, студентам, які мають труднощі з інтегралами або диференціальними рівняннями, система може автоматично надавати додаткові пояснення, приклади та тренувальні вправи.

У викладанні вищої математики значну частину часу викладача займає перевірка домашніх робіт, тестів та розрахункових завдань. Системи на основі штучного інтелекту можуть автоматично перевіряти правильність обчислень, аналізувати хід розв’язання та навіть виявляти типові помилки. Сучасні чат-боти можуть пояснювати математичні поняття, допомагати у розв’язанні задач і відповідати на запитання студентів у режимі реального часу. Такі системи працюють як віртуальні репетитори та доступні цілодобово.

Штучний інтелект у поєднанні з графічними технологіями дозволяє створювати інтерактивні моделі та візуалізації математичних об’єктів. Це особливо корисно при вивченні: багатовимірних поверхонь; інтегралів; векторного аналізу; теорії ймовірностей; математичної статистики. Візуалізація допомагає

студентам краще зрозуміти складні абстрактні поняття.

Також системи штучного інтелекту можуть прогнозувати рівень успішності студентів, виявляти труднощі у навчанні та рекомендувати шляхи їх подолання. Завдяки аналізу великих обсягів даних викладач отримує можливість своєчасно допомогти студентам, які мають ризик академічної неуспішності. Крім того, студенти отримують можливість навчатися у власному темпі та самостійно опрацьовувати складні теми.

Попри значні переваги, використання штучного інтелекту має і певні недоліки: можливість зниження самостійності студентів, зростає ризик академічної не доброчесності а також залежність від технічних засобів.

У майбутньому роль штучного інтелекту в освіті буде лише зростати. Очікується поява ще більш досконалих адаптивних систем навчання, автоматизованих платформ оцінювання та інтерактивних математичних середовищ. Але штучний інтелект не може повністю замінити викладача, оскільки людське спілкування, педагогічний досвід та емоційна підтримка залишаються важливими складовими освіти. Поєднання традиційного викладання та сучасних технологій дозволить зробити навчання вищої математики більш доступним, ефективним і цікавим для студентів.

Список використаних джерел

1. Рекомендації щодо відповідального впровадження та використання технологій штучного інтелекту в закладах вищої освіти. — К.: Міністерство освіти і науки України, 2025. — 42 с.

2. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р (зі змінами від 2024 р.).

3. Використання штучного інтелекту при викладанні математики // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Педагогічні науки. 2024. № 214. С. 256-261.

4. Корольський В. В., Семеріков С. О., Шокалюк С. В. Наступність у навчанні математики: від комп’ютерно-орієнтованих до ШІ-технологій // Теорія та методика навчання

математики, фізики, інформатики. К.: 2024. Вип. 18.

5. Математика + ШІ: як навчати в епоху штучного інтелекту. Методичний посібник. Освітня платформа «Вектор», 2025.

6. Anderhaa R. R. The Role of Artificial Intelligence in Mathematics Education in Higher Education: A Literature Review // International Journal of Contemporary Academic Research. 2025. Vol. 6, No. 1.

7. Meylani R. Artificial Intelligence in Mathematics Teacher Education: A Systematic Review and Qualitative Synthesis of Contemporary Research Literature // International Journal of Technology in Education and Science (IJTES). 2024. Vol. 8, No. 1. P. 63-91.

11. Alpha as a Tool for Mathematics. [Електронний ресурс]. https://www.wolframalpha.com/solutions/education/ (дата звернення: 07.05.2026).

12. AI-Enhanced Mathematics Education. ResearchGate Systematic Review Section, 2026. [Електронний ресурс].

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ЗАСІБ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ

Литвиненко Евеліна Володимирівна
Київський національний торговельно-економічний університет, здобувачка вищої освіти, lina.ltvnk.2008@gmail.com

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A MEANS OF PERSONALIZING LEARNING

Lytvynenko Evelina Volodymyrivna
Kyiv National University of Trade and Economics, higher education student, lina.ltvnk.2008@gmail.com

The paper examines artificial intelligence technologies applied to personalized learning and assesses their effectiveness. The main classes reviewed include adaptive systems, large language models, recommender systems, and intelligent tutoring systems. Three groups of implementation challenges are identified: technical-organizational, ethical, and pedagogical. A hybrid model where AI supports rather than replaces the teacher is proposed as the optimal approach.

Keywords: artificial intelligence, personalized learning, adaptive learning systems, large language models, intelligent tutoring systems, educational technology.

У сучасному освітньому просторі особливо актуальною є проблема врахування індивідуальних особливостей студентів, зокрема різного темпу засвоєння матеріалу, стилів навчання, рівня мотивації та базової підготовки. Традиційна система навчання, яка розрахована на середній рівень учня, часто не забезпечує належної підтримки ні студентам, які стикаються з труднощами у навчанні, ні тим, хто опановує матеріал швидше за інших. Персоналізоване навчання на основі штучного інтелекту (ШІ) розглядається дослідниками як один із найбільш перспективних шляхів розв'язання цієї суперечності [1; 3].

Метою роботи є аналіз сучасних технологій ШІ, що застосовуються для персоналізації освітнього процесу, та оцінка ефективності їх впровадження у закладах вищої освіти.

Персоналізоване навчання — це підхід, за якого зміст, темп і методи навчання адаптуються до індивідуальних потреб, здібностей та інтересів кожного здобувача освіти. На відміну від диференційованого навчання, цей підхід передбачає індивідуальну адаптацію навчального процесу для кожного студента протягом усього періоду навчання. Аналіз наукових джерел дозволяє виокремити кілька визначальних характеристик такого підходу: навчальний процес набуває гнучкого, орієнтованого на особистість характеру; студент перестає бути пасивним отримувачем знань і стає центральною фігурою в освітній взаємодії; зміст і завдання узгоджуються з особистими цілями здобувача; водночас розвиваються не лише предметні, а й соціально-комунікативні компетентності. [3, с. 97].

Нині для персоналізації освітнього процесу використовуються різні класи технологій штучного інтелекту, кожен із яких спрямований на розв’язання окремих завдань навчання.

Адаптивні навчальні системи та засоби Learning Analytics базуються на аналізі навчальної активності студентів: часу виконання завдань, кількості спроб, результатів тестування та послідовності роботи з матеріалами. Отримані дані використовуються для створення цифрового профілю студента, завдяки якому система може автоматично підбирати складність завдань і змінювати послідовність подання навчального матеріалу. Прикладами впровадження таких рішень є платформи Knewton та Smart Sparrow.

Великі мовні моделі (LLM) суттєво впливають на розвиток персоналізованого навчання. Поява ChatGPT та подібних систем відкрила нові можливості для взаємодії студентів із цифровим освітнім середовищем, зокрема створення пояснень різного рівня складності, надання швидкого зворотного зв’язку природною мовою, генерацію індивідуальних завдань і підтримку навчального діалогу. Дослідження свідчать, що використання LLM сприяє зменшенню навантаження на викладачів і дозволяє більше уваги приділяти творчим та інтерактивним методам навчання [4, с. 2].

Рекомендаційні системи в освіті функціонують за принципом, подібним до алгоритмів стримінгових платформ. Вони аналізують поведінкові дані великої кількості користувачів та пропонують навчальний контент, який найбільше відповідає індивідуальним потребам конкретного студента. Результати досліджень демонструють, що інструменти ШІ здатні забезпечити більшість потреб персоналізованого навчання, а рівень їхнього впливу оцінюється приблизно у 72,7% [3, с. 100].

Важливу роль відіграють інтелектуальні навчальні системи (ITS), які імітують діяльність репетитора, поєднуючи модель предметної області, модель студента та педагогічну модель для забезпечення адаптивної взаємодії в процесі навчання. Прикладом є платформа Carnegie Learning. У низці досліджень ефективність ITS порівнюється з результативністю індивідуального навчання [2, с. 46].

Аналіз сучасних наукових досліджень дає підстави стверджувати, що персоналізовані освітні середовища, побудовані на основі ШІ, мають суттєві переваги порівняно з традиційними моделями навчання. Спостерігається підвищення рівня залученості студентів до освітнього процесу, зменшення відсотка відрахувань з університетів, а також скорочення часу, необхідного для досягнення навчальних результатів. Адаптивні системи здатні враховувати не лише когнітивні характеристики здобувачів освіти, а й їхній емоційний стан та рівень мотивації [2, с. 46–47].

Проведений аналіз виявив три основні групи проблем, пов’язаних із впровадженням ШІ в освітню сферу. Передусім це технічні й організаційні складнощі, зокрема необхідність сучасної цифрової інфраструктури, значних фінансових ресурсів і відповідної підготовки викладачів. Другою групою є етичні виклики, що стосуються захисту персональних даних студентів і ризику алгоритмічної упередженості, через яку система може необ’єктивно оцінювати можливості певних груп здобувачів освіти.. Педагогічні виклики, серед яких: можливе формування надмірної залежності студентів від рекомендацій інтелектуальних систем і поступове послаблення навичок критичного мислення.

Дослідники рекомендують розроблення етичних принципів і підвищення цифрової компетентності учасників процесу [4, с. 3]. Оптимальним є гібридний підхід, за якого ШІ доповнює, а не замінює педагога.

Штучний інтелект відкриває нові можливості для персоналізації освіти, забезпечуючи врахування індивідуальних потреб кожного студента на рівні, який неможливо реалізувати за допомогою традиційних методів навчання. Ключовими технологіями залишаються адаптивні системи, LLM та ITS. Водночас успішне впровадження потребує розвитку інфраструктури, вироблення етичних норм і підготовки педагогів.

Список використаних джерел

1. Саган О. В. Організація персоналізованого навчання за допомогою штучного інтелекту. Збірник наукових праць «Педагогічні науки». 2024. № 108. С. 37–43. DOI: 10.32999/ksu2413-1865/2024-108-6.

2. Вітрук Р. О. Персоналізоване навчання за допомогою штучного інтелекту. Інноваційні підходи до підготовки кваліфікованих робітників: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (30 вересня 2024 р.). MANS w Łomży, Біла Церква – Ломжа, 2024. № 2. С. 45–48.

3. Тарасенко С., Карінцева О., Дурановсеі В., Біловол А., Петрова А. Модель використання штучного інтелекту та ChatGPT для персоналізації навчання у вищій освіті. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки». 2024. № 4 (114). С. 96–107. DOI: 10.37734/2409-6873-2024-4-16.

4. Назар М. М. Штучний інтелект: на початку ери нових можливостей системи освіти. Вісник Національної академії педагогічних наук України. 2024. № 6 (2). С. 1–4. DOI: 10.37472/v.naes.2024.6224.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ДРАЙВЕР РОЗВИТКУ ОСВІТИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Насмінчук Ірина Анатоліївна
Навчально-реабілітаційний заклад вищої освіти «Кам'янець-Подільський державний інститут», кандидат філологічних наук, доцент, завідувач кафедри цифрових, освітніх та соціо-економічних технологій, nasminchuk@gmail.com
Ніколайчук Сергій Юрійович
Навчально-реабілітаційний заклад вищої освіти «Кам'янець-Подільський державний інститут», здобувач освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Професійна освіта «Цифрові технології)», mykolaychuk@mail.ua

INFORMATION TECHNOLOGIES AS A DRIVER OF EDUCATIONAL DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Nasminchuk Iryna Anatoliivna
Educational and Rehabilitation Institution of Higher Education "Kamianets-Podilskyi State Institute", Candidate of Philological Sciences (PhD in Philology), Associate Professor, Head of the Department of Digital, Educational, and Socio-Economic Technologies, nasminchuk@gmail.com
Nikolaychuk Serhii Yuriiovych
Educational and Rehabilitation Institution of Higher Education "Kamianets-Podilskyi State Institute", Bachelor's Degree Student (First Cycle of Higher Education), Educational and Professional Program "Vocational Education (Digital Technologies)", mykolaychuk@mail.ua

The paper examines the role of information technologies as a key factor in the transformation of modern education in the context of digitalization. The main directions of implementing digital tools, their impact on the quality and accessibility of education, as well as the formation of digital competencies are analyzed. The advantages, challenges, and prospects for the development of the digital educational environment are identified.

Keywords: digitalization of education, information technologies, digital competencies, distance learning, educational innovations.

Сучасний розвиток суспільства характеризується активною цифровізацією, яка охоплює всі сфери людської діяльності, зокрема освіту. Інформаційні технології поступово перетворюються з допоміжного інструменту на ключовий фактор модернізації освітнього процесу. У цих умовах освіта набуває нових характеристик, таких як гнучкість, відкритість, доступність і орієнтація на індивідуальні потреби здобувачів освіти, зумовлюючи необхідність комплексного осмислення ролі інформаційних технологій як драйвера її розвитку.

Аналіз сучасних наукових досліджень свідчить про зростання інтересу до проблем цифровізації освіти [1-4]. Дослідники наголошують, що впровадження інформаційно-комунікаційних технологій сприяє підвищенню ефективності навчання, розширенню можливостей освітнього середовища та формуванню нових підходів до організації освітнього процесу. Особливу увагу приділено використанню дистанційних форм навчання, хмарних технологій, систем управління навчанням, а також інструментів штучного інтелекту. Водночас актуальним залишається питання забезпечення якості освіти в умовах цифрових трансформацій.

Цифровізація освіти передбачає системну інтеграцію інформаційних технологій у всі компоненти освітнього процесу. Йдеться не стільки про використання електронних ресурсів, скільки про глибоку трансформацію педагогічних підходів, методів навчання та форм взаємодії між учасниками освітнього процесу. Інформаційні технології забезпечують можливість доступу до освітніх ресурсів незалежно від часу та місця перебування, що сприяє розвитку концепції навчання впродовж життя.

Одним із пріоритетних напрямів цифровізації є розвиток освітніх платформ, які дозволяють організовувати дистанційне та змішане навчання. Такі платформи забезпечують інтерактивність

освітнього процесу, сприяють активній участі здобувачів освіти та створюють умови для індивідуалізації навчання. Водночас важливу роль відіграють хмарні технології, які забезпечують збереження та обмін навчальними матеріалами, а також підтримують колективну роботу учасників освітнього процесу.

Суттєвий вплив на розвиток освіти мають технології штучного інтелекту та аналітики даних. Вони дозволяють адаптувати навчальний контент до індивідуальних потреб здобувачів освіти, здійснювати моніторинг їхніх навчальних досягнень та прогнозувати результати навчання. Використання таких технологій сприяє підвищенню ефективності освітнього процесу та формуванню персоналізованих освітніх траєкторій.

Важливим аспектом цифровізації є формування цифрових компетентностей, які є необхідною умовою успішної професійної діяльності в сучасному суспільстві. Йдеться про здатність ефективно використовувати інформаційні технології, працювати з інформацією, здійснювати комунікацію в цифровому середовищі та критично оцінювати інформаційні ресурси. Розвиток таких компетентностей сприяє підвищенню конкурентоспроможності здобувачів освіти на ринку праці.

Цифрові технології також відіграють важливу роль у забезпеченні інклюзивності освіти. Вони створюють можливості для навчання осіб з особливими освітніми потребами шляхом використання адаптивних програм, спеціалізованого програмного забезпечення та онлайн-ресурсів. Це сприяє реалізації принципів рівного доступу до освіти та соціальної інтеграції.

Разом із тим цифровізація освіти супроводжується низкою викликів. Серед них варто відзначити проблему цифрового розриву, що проявляється у нерівному доступі до технологій, недостатній рівень цифрової компетентності педагогів, а також загрози інформаційної безпеки. Крім того, існує ризик формалізації освітнього процесу у разі поверхневого використання інформаційних технологій без належного педагогічного обґрунтування. На думку Сисоєвої С., «однією з найважливіших проблем цифровізації освіти є те, що інновації в

цифровому освітньому просторі є не тільки технічними й технологічними інноваціями, а й змінами у змісті та організації освітнього контенту, в структурі та організаційних принципах діяльності закладів освіти» [3].

Перспективи розвитку освіти в умовах цифровізації пов'язані з подальшим впровадженням інноваційних технологій, зокрема адаптивних освітніх систем, технологій віртуальної та доповненої реальності, а також розширенням можливостей використання штучного інтелекту. Важливим напрямом є створення єдиного цифрового освітнього середовища, що забезпечить інтеграцію всіх учасників освітнього процесу та підвищить ефективність управління освітою.

Отже, інформаційні технології виступають ключовим драйвером розвитку освіти в умовах цифровізації, забезпечуючи її модернізацію, інноваційність та доступність. Водночас ефективність їх впровадження залежить від комплексного підходу, що включає розвиток цифрових компетентностей, удосконалення інфраструктури та формування сучасної освітньої політики.

Список використаних джерел

1. Биков В. Ю. Цифровізація освіти – імператив інтеграції України у світовий інформаційний простір. *Освіта і суспільство*. 2022. № 10. С. 6–10.

2. Гуралюк А. Г. Цифровізація як умова розвитку системи освіти. *Вісник Національного університету*. Чернігівський колегіум імені Т. Г. Шевченка. 2021. Т. 168. № 13. С. 3–8.

3. Сисоєва С. Цифровізація освіти: педагогічні пріоритети. *Освіта і суспільство*. 2021. № 10-11. С. 8–9. URL: https://naps.gov.ua/ua/press/about_ us/2545

4. Lazareva A., Sikora Y., Zadorina O., Rizak G., Kaminskyy V. Aadapting curriculum to the needs of the modern digital society in Ukraine. *Futurity Education*. 2024. Vol. 4. № 3. P. 236–252. DOI: https://doi.org/10.57125/fed.2024.09.25.14

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВЕБТЕХНОЛОГІЯХ В ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ

Неділько Ольга Володимирівна
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WEB TECHNOLOGIES AND THE EDUCATION OF FUTURE IT SPECIALISTS

Nedilko Olha
Lutsk National Technical University, Assistant of the Department of Computer Science, o.nedilko@lutsk-ntu.com.ua

These theses consider modern approaches to integrating artificial intelligence (AI) into web technologies and the educational process of training future IT specialists. The potential of AI tools in web development, interface automation, code generation, and learning support is analyzed. Practical aspects of implementing artificial intelligence in teaching web technologies and web design disciplines are outlined.

Keywords: artificial intelligence, web technologies, web design, education, IT specialists, learning process, generative models.

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується стрімкою та масштабною інтеграцією штучного інтелекту (ШІ) у різні сфери людської діяльності. Особливо помітною є його роль у веброзробці, цифровому дизайні та освітніх процесах, пов'язаних із підготовкою майбутніх ІТ-фахівців. Це зумовлює необхідність переосмислення традиційних підходів до викладання вебтехнологій, вебдизайну та програмування з урахуванням нових можливостей, які надають інтелектуальні системи.

Зокрема, штучний інтелект сьогодні активно використовується у веброзробці для автоматичної генерації HTML, CSS та JavaScript-коду, оптимізації структури

вебсторінок, створення адаптивних інтерфейсів, а також автоматизації процесів UI/UX-дизайну. Окрім цього, технології штучного інтелекту застосовуються для персоналізації вебконтенту відповідно до поведінки користувачів, аналізу великих масивів даних, прогнозування взаємодії користувачів із вебсистемами, а також для автоматизованого тестування та виявлення помилок у вебзастосунках [1].

Сучасні генеративні моделі штучного інтелекту дозволяють значно пришвидшити процес розробки програмних продуктів, зокрема на етапах створення прототипів вебсайтів та мінімально життєздатних продуктів (MVP). Це суттєво скорочує час між ідеєю та її реалізацією, підвищує ефективність роботи розробників і дозволяє зосередитися на архітектурних та креативних аспектах проєктування систем.

У контексті підготовки майбутніх ІТ-фахівців штучний інтелект може виконувати роль багатофункціонального освітнього інструменту [2]. Зокрема, він може використовуватися як:

– інструмент навчальної підтримки, що забезпечує пояснення програмного коду, надає підказки та приклади розв’язання задач;

– засіб автоматизованої генерації навчальних завдань різного рівня складності;

– інтерактивна платформа для практики програмування та відпрацювання навичок розробки;

– інструмент аналізу та перевірки коду студентів із виявленням помилок та рекомендаціями щодо їх усунення.

Застосування штучного інтелекту в освітньому процесі сприяє індивідуалізації навчання, адаптації матеріалу до рівня підготовки здобувача освіти та формує у студентів навички роботи з сучасними цифровими інструментами, що є критично важливим для їхньої подальшої професійної діяльності. Крім того, використання ШІ значно підвищує ефективність засвоєння навчального матеріалу, оскільки дозволяє кожному студентові працювати у власному темпі, повторювати складні теми та отримувати пояснення у зручній для нього формі.

Важливою перевагою є також оперативний зворотний зв'язок, який дає можливість швидко виявляти та виправляти помилки у навчальних завданнях, особливо у сфері програмування та веброзробки. Це скорочує час на пошук рішень і сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу.

Окрім цього, штучний інтелект розширює можливості самостійного навчання, надаючи студентам доступ до персоналізованих пояснень, прикладів та рекомендацій. Це стимулює пізнавальну активність, розвиває аналітичне мислення та формує навички самостійного вирішення практичних завдань.

Додатковою перевагою є підвищення мотивації студентів до активного самостійного навчання та практичної діяльності. Водночас неконтрольоване застосування таких технологій може призводити до зниження рівня критичного та аналітичного мислення. Це зумовлює необхідність формування методичних підходів до ефективної та педагогічно обґрунтованої інтеграції ШІ в освітній процес [3, 4].

На практичному рівні інтеграція штучного інтелекту у викладання вебтехнологій може реалізовуватися через низку підходів, серед яких:

– використання ШІ-асистентів під час виконання лабораторних та практичних робіт;

– розробка навчальних вебпроєктів із інтеграцією елементів машинного навчання або інтелектуальної обробки даних;

– застосування генеративних інструментів для створення прототипів інтерфейсів та дизайну вебзастосунків;

– автоматизований аналіз помилок студентського програмного коду та надання рекомендацій щодо його покращення;

– використання ШІ для формування індивідуальних навчальних траєкторій студентів.

Завдяки таким підходам навчальний процес стає більш наближеним до реальних умов ІТ-індустрії, де використання штучного інтелекту вже є стандартною практикою.

Таким чином, штучний інтелект поступово перетворюється на невід'ємну складову сучасних вебтехнологій, програмної

інженерії та освітніх практик. Його впровадження у підготовку ІТ-фахівців сприяє підвищенню якості навчання, розвитку практичних та аналітичних навичок, а також формуванню готовності студентів до викликів сучасного цифрового ринку праці.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробці та впровадженні педагогічних моделей інтеграції штучного інтелекту в освітній процес, а також на емпіричній оцінці його впливу на якість навчальних досягнень і формування професійних компетентностей майбутніх ІТ-фахівців.

Список використаних джерел

1. Чуніхін Д. Використання технологій штучного інтелекту в освіті та наукових дослідженнях: аналіз вітчизняного наукового дискурсу. Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти. 2025. Т. 1, № 23. С. 196-207. URL: https://doi.org/10.31865/2414-9292.23.2025.334080 (дата звернення: 04.05.2026).

2. Собченко Т., Цимбалов Д. Нормативно-правове регулювання використання штучного інтелекту в освіті: досвід України та ЄС. Молодь і ринок. 2026. № 12/244. С. 43–48. URL: https://doi.org/10.24919/2308-4634.2025.345080 (дата звернення: 07.05.2026).

3. Карпова О., Бублик В. Стан проблеми використання штучного інтелекту в закладах вищої освіти та його вплив на якість навчання (на прикладі іноземної мови). Вища освіта України. 2025. № 2. С. 70-78. URL: https://doi.org/10.32782/npu-vou.2025.2(97).09 (дата звернення: 10.05.2026).

4. Krause S. et al. Generative AI in Education: Student Skills and Lecturer Roles. arXiv, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2504.19673 (дата звернення: 10.05.2026).

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ

Овдійчук Марія Олександрівна
Національний університет водного господарства та природокористування, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, ovdiichuk_ak24@nuwm.edu.ua
Каштан Сергій Степанович
Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики, кандидат технічних наук, доцент, s.s.kashtan@nuwm.edu.ua

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' CRITICAL THINKING IN ONLINE LEARNING

Ovdiichuk Mariia
National University of Water and Environmental Engineering, first (bachelor's) level higher education student, ovdiichuk_ak24@nuwm.edu.ua
Kashtan Serhii Stepanovych
National University of Water and Environmental Engineering, Associate Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, s.s.kashtan@nuwm.edu.ua

The paper examines the impact of artificial intelligence technologies on the development of students' critical thinking in online learning environments. The study analyses the practical use of AI tools during educational activities, identifies their advantages and limitations, and proposes recommendations for effective integration into the educational process. Particular attention is paid to the role of artificial intelligence as an assistant in the learning process rather than a replacement for independent thinking.

Keywords: artificial intelligence, online learning, critical thinking, educational platforms, digital technologies.

Сучасний освітній процес швидко змінюється під впливом цифрових технологій. Після поширення дистанційного та змішаного навчання онлайн-платформи стали важливою складовою освітнього середовища. Разом із цим активно зростає використання систем штучного інтелекту [1], які допомагають студентам у пошуку інформації, підготовці навчальних матеріалів, аналізі даних та виконанні практичних завдань. Однак поряд із перевагами виникає проблема надмірного використання штучного інтелекту (ШІ), що може негативно впливати на розвиток самостійного мислення та здатність аналізувати інформацію [2].

Метою роботи є аналіз можливостей використання інструментів штучного інтелекту для розвитку критичного мислення студентів у процесі онлайн-навчання та визначення умов їх ефективного застосування.

У сучасному освітньому середовищі студенти все частіше використовують системи штучного інтелекту під час навчання. Найчастіше такі інструменти застосовуються для пошуку пояснень складних тем, перевірки програмного коду, генерації ідей для проєктів та підготовки до практичних занять. Це стало особливо помітно після активного розвитку дистанційного навчання та цифрових платформ [3].

До основних переваг використання систем штучного інтелекту в онлайн-навчанні можна віднести швидкий доступ до інформації, можливість персоналізованого навчання, автоматизацію рутинних завдань та підтримку студентів під час самостійної роботи. Наприклад, під час вивчення програмування системи штучного інтелекту можуть допомагати знаходити помилки у коді та пояснювати принцип роботи алгоритмів, а при тестуванні програмного забезпечення – дозволяють автоматизувати процес тестування інтерфейсів користувача, виявляти дефекти у програмних продуктів, оптимізувати час виконання тестів, що знижує витрати на тестування і підвищує швидкість розробки [4]. Це дозволяє студентам швидше засвоювати матеріал та приділяти більше уваги практичному

застосуванню знань.

Проте, існують певні ризики. Студенти можуть почати покладатися лише на готові відповіді без аналізу отриманої інформації. У такому випадку знижується рівень критичного мислення, а процес навчання перетворюється на механічне копіювання результатів. Саме тому важливо використовувати ШІ як інструмент підтримки, а не як повну заміну самостійної роботи.

На основі проведеного аналізу було сформовано основні рекомендації щодо ефективного використання ШІ в освітньому процесі (табл. 1).

Таблиця 1. Рекомендації щодо використання ШІ в онлайн-навчанні

Напрям використання	Застосування	Позитивний вплив	Можливі ризики
Пошук інформації	Отримання пояснень та прикладів	Швидке засвоєння матеріалу	Використання неперевірених даних
Програмування	Аналіз та перевірка коду	Підвищення практичних навичок	Копіювання готових рішень
Генерація ідей	Допомога у створенні проєктів	Розвиток креативності	Зменшення самостійності
Підготовка до занять	Створення конспектів та тестів	Економія часу	Формальне навчання

Наведені приклади свідчать про те, що використання ШІ може позитивно впливати на освітній процес за умови правильного його використання та дотримання академічної доброчесності [5]. Особливо важливо навчати студентів перевіряти отриману інформацію, аналізувати відповіді систем ШІ та використовувати їх як допоміжний інструмент для розвитку власних навичок.

Отже використання ШІ сприяє покращенню системи онлайн-навчання та допомагає студентам ефективніше

засвоювати матеріал. Однак, ефективність їх використання безпосередньо залежить від того, наскільки студенти вміють правильно застосовувати інструменти штучного інтелекту та аналізувати отриману інформацію.

Список використаних джерел

1. Пігаль О.О., Каштан С.С. Моделі штучного інтелекту: стан і перспективи застосування. *Збірник тез науково-практичної конференції студентів та аспірантів навчально-наукового інституту кібернетики, інформаційних технологій та інженерії, присвяченої 25-річчю ННІ КІТІ*, м.Рівне, 14 травня 2025 р. / НУВГП. Рівне, 2025. С. 28. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/32981/.

2. Занько Н.В., Глуховецький П.А. Вплив штучного інтелекту на освітній процес: аналіз змін. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації та розвиток* : монографія. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2024. С. 124-134. URL: https://openarchive.nure.ua/handle/document/27268.

3. Сімонова І.В., Пачевська А.В., Білошицька А.В., Істошин В.М. Використання штучного інтелекту в освіті: потенціал, виклик чи можливість. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2025. Том 29, №3. С. 462-468. URL: https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29(3)-18.

4. Овдійчук М.О., Кубай О.В. Роль штучного інтелекту в автоматичному тестуванні програмного забезпечення. *Збірник тез науково-практичної конференції студентів та аспірантів навчально-наукового інституту кібернетики, інформаційних технологій та інженерії, присвяченої 25-річчю ННІ КІТІ*, м.Рівне, 14 травня 2025 р. / НУВГП. Рівне, 2025. С. 24. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/34423/.

5. Мошинський В.С. Політика доброчесного використання штучного інтелекту в Національному університеті водного господарства та природокористування від 04.12.2024 №836. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/32644/ (дата звернення: 07.05.2026).

КОГНІТИВНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ В ЕПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ВПЛИВ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ НАВИЧОК У СТУДЕНТІВ

Озаринський Максим Геннадійович
Луцький національний технічний університет, студент бакалаврату, ozarynskyy.m1308.121.24@lntu.edu.ua
Потейчук Михайло Іванович
Луцький національний технічний університет, асистент кафедри інженерії програмного забезпечення, misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

COGNITIVE OFFLOADING IN THE ERA OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: THE IMPACT OF LARGE LANGUAGE MODELS ON THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' ANALYTICAL SKILLS

Ozarynskyi Maksym
Lutsk National Technical University, bachelor's student, ozarynskyy.m1308.121.24@lntu.edu.ua
Poteichuk Mykhailo
Lutsk National Technical University, assistant, Department of Software Engineering, misha.poteichuk@lutsk-ntu.com.ua

This study explores the impact of generative AI (LLMs) on the cognitive offloading of engineering students. It demonstrates that uncontrolled AI use for coding reduces neuroplasticity and analytical skills. The paper proposes using AI as a "Socratic opponent" to critique solutions, preserving the cognitive load required to develop systems thinking and a deep understanding of software architecture.

Keywords: cognitive offloading, Large Language Models (LLM), generative AI, engineering education, critical thinking

Стрімке та незворотне впровадження генеративного штучного інтелекту (зокрема потужних моделей Gemini, ChatGPT, GitHub Copilot) ініціювало глибокі структурні зміни в

освітньому процесі закладів вищої освіти. Здобувачі освіти отримали безпрецедентно зручний інструментарій для автоматизованої генерації програмного коду та швидкого проєктування архітектурних рішень. Ця нова тенденція гостро актуалізує необхідність комплексного дослідження феномену когнітивного розвантаження (cognitive offloading), яке визначається як використання фізичних (або цифрових) дій для зміни вимог до обробки інформації певного завдання з метою зниження когнітивного навантаження [1]. У контексті сучасної технічної освіти виникає фундаментальна проблема: інструменти, безпосередньо орієнтовані на оптимізацію та полегшення завдань, за певних умов можуть спричиняти приховану деградацію базових аналітичних навичок.

Варто підкреслити, що когнітивне розвантаження є закономірним та історично обумовленим наслідком технологічного розвитку. Раніше дослідниками вже було яскраво зафіксовано так званий «ефект Google», який доводить: коли люди очікують мати доступ до інформації в майбутньому, у них знижується рівень запам’ятовування самої інформації, і натомість покращується запам’ятовування того, де саме отримати до неї доступ [2]. Однак, сучасні великі мовні моделі (LLM) забезпечують якісно новий перехід – від звичайного делегування пам’яті до делегування логічного синтезу, що категорично потребує чіткого розмежування продуктивної автоматизації та деструктивного уникнення когнітивних зусиль.

Надійним теоретичним підґрунтям для глибокого аналізу цієї проблеми виступає класична теорія когнітивного навантаження. Вона базується на когнітивній архітектурі, яка складається з обмеженої робочої пам’яті, і стверджує, що процес навчання вимагає, аби обсяг робочої пам’яті був безпосередньо спрямований на набуття нових схем [3]. Відповідно, під час розробки складних алгоритмів чи проєктування архітектури баз даних саме самостійний, іноді тривалий процес налагодження та ідентифікації структурних патернів забезпечує успішну трансформацію інформації у стійкі структури знань.

Натомість, надмірне та неконтрольоване застосування LLM

неминуче формує небезпечний ефект «когнітивного обходу». Здобувач освіти миттєво отримує готовий синтаксис, радикально мінімізуючи власне інтелектуальне напруження, внаслідок чого нейронні зв'язки, критично необхідні для розуміння архітектури, просто не формуються належним чином. У професійному процесі підготовки інженерів це деструктивне явище чітко ідентифікується як «упередженість до автоматизації» (automation bias). Це явище описують як тенденцію використовувати автоматизовані підказки як евристичну заміну пильного пошуку та обробки інформації, через що користувачі можуть не помічати проблем, оскільки вони довіряють автоматизації [4]. Повне делегування алгоритмічної логіки системі штучного інтелекту врешті-решт призводить до втрати здатності проводити уважний та незалежний аудит коду.

Водночас категоричне виключення LLM з освітнього процесу є абсолютно нераціональним кроком. Як зазначають науковці, штучний інтелект відкриває новий рубіж у когнітивному розвантаженні: він може слугувати когнітивним інструментом, який розширює людські можливості, дозволяючи студентам зосередитися на мисленні вищого порядку шляхом розвантаження завдань нижчого рівня [5]. Тому найбільш доцільним є стратегічне застосування ШІ виключно як інструмента автоматизації рутинних операцій (наприклад, написання шаблонного коду).

Для вирішення ж концептуально складних аналітичних завдань науково обґрунтовано впровадження ефективної концепції «сократівського опонента», згідно з якою велику мовну модель можна використовувати як сократівського тьютора, який залучає студентів до діалогу та ставить їм навідні запитання замість того, щоб просто надавати прямі відповіді [6]. Такий інноваційний підхід гарантовано підтримує необхідний рівень когнітивного навантаження, постійно стимулюючи здобувача освіти самостійно виявляти та усувати вразливості в програмних рішеннях.

Отже, невідворотна інтеграція генеративного штучного інтелекту в систему вищої технічної освіти вимагає

першочергового формування навичок свідомого управління когнітивним навантаженням. Своєчасна адаптація методів оцінювання з жорстким фокусом на сам процес алгоритмічного мислення дозволить ефективно використовувати LLM як потужний інструмент посилення аналітичної автономії майбутніх фахівців.

Список використаних джерел

1. Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. Trends in Cognitive Sciences, 20(9), 676–688. https://doi.org/ 10.1016 /j.tics.2016.07.002

2. Sparrow, B., Liu, J., & Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips. Science, 333(6043), 776–778. https://doi.org/10.1126 /science.1207745

3. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive Science, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

4. Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. Human Factors, 52(3), 381–410. https://doi.org/10.1177/0018720810376055

5. Lodge, J. M., Thompson, K., & Corrin, L. (2023). Mapping out a research agenda for generative artificial intelligence in tertiary education. Australasian Journal of Educational Technology, 39(1), 1–8. https://doi.org/10.14742/ajet.8695

6. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОЛАБОРАЦІЇ В СИСТЕМІ НАУКОВОГО КЕРІВНИЦТВА СТУДЕНТІВ

Павленко Лілія Василівна
Бердянський державний педагогічний університет, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформатики, liliya.pavlenko@gmail.com
Павленко Максим Петрович
Бердянський державний педагогічний університет, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформатики, Pavlenko.2277@gmail.com

CLOUD-BASED COLLABORATION TECHNOLOGIES IN THE STUDENT RESEARCH SUPERVISION SYSTEM

Lilia Pavlenko
Berdyansk state pedagogical university, candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of computer technologies and informatics, liliya.pavlenko@gmail.com
Maksym Pavlenko
berdyansk state pedagogical university, candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of computer technologies and informatics, pavlenko.2277@gmail.com

The present study provides a theoretical substantiation of a methodical system using cloud collaborative tools (Notion and Google Workspace) to optimize students' research and enhance supervision. The model is grounded in the principles of connectivism, and it serves to transform traditional supervision into digital facilitation. The system has been designed to guarantee uninterrupted asynchronous assistance and lucid progress monitoring, thus establishing a technologically advanced collaborative environment for students.

Keywords: cloud technologies, Google Workspace, Notion, scientific supervision, collaborative environment, professional education.

Сучасний етап розвитку вищої характеризується незворотною та загальною цифровою трансформацією, яка

змінює архітектуру академічної діяльності, зокрема й процеси організації науково-дослідної роботи здобувачів освіти. Глобальні виклики останніх років, серед яких наслідки пандемії та безпрецедентні умови воєнного стану в Україні, зумовили швидкий перехід до дистанційних та змішаних форматів навчання. Це вимагає концептуального переосмислення традиційних консервативних підходів до наукового керівництва та наставництва. Актуальність обраної теми фундаментально зумовлена нагальною потребою в модернізації механізмів взаємодії між науковим керівником та студентом шляхом імплементації інноваційних хмарних інструментів, таких як екосистема Google Workspace, інтелектуальний простір Notion та споріднені цифрові сервіси. У контексті підготовки майбутніх фахівців із цифрових технологій для системи професійної освіти використання таких платформ виходить за межі суто організаційної функції; воно стає невід'ємною частиною формування професійної компетентності магістрантів, розвиваючи їхню здатність до фахової колаборації у хмарному середовищі.

Проблема інтеграції цифрових та хмарних технологій в освітній процес перебуває в центрі пильної уваги як українських, так і зарубіжних науковців, формуючи міцне теоретичне підґрунтя для нашого дослідження. Фундаментальні аспекти впливу хмарних обчислень на інститутуальну спроможність закладів вищої освіти, зокрема питання розширення віддаленого доступу до ресурсів, зниження адміністративних витрат та покращення загальної колаборації, ґрунтовно розкрито у новітніх систематичних оглядах [1]. Поряд із цим, найсучасніші розвідки розкривають еволюцію самої моделі наукового керівництва під впливом інноваційних технологій, де цифрові рішення виступають не просто технічними засобами, а епістемічними інструментами, що прискорюють дослідницький прогрес, докорінно змінюють динаміку зворотного зв'язку та сприяють транзиції студентів від статусу учнів до автономних дослідників [2]. Водночас, незважаючи на репрезентативний масив публікацій, присвячених окремим технологічним або

дидактичним аспектам діджиталізації, проблема створення цілісної, науково обґрунтованої методики використання таких комплексних систем організації знань, як Notion, у синергії з Google Workspace саме для потреб планування, управління та супроводу спільної наукової роботи у закладах вищої освіти залишається фрагментарно висвітленою.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні методичної системи використання хмарних колаборативних інструментів для оптимізації організації спільної наукової роботи студентів та якісного вдосконалення процесу наукового керівництва.

У процесі реалізації поставленої мети було розроблено та теоретично обґрунтовано комплексну методичну систему використання хмарних колаборативних інструментів, спрямовану на оптимізацію організації спільної наукової роботи студентів та вдосконалення процесу наукового керівництва. Концептуальною основою запропонованої системи виступають ідеї конективізму та соціального конструктивізму, які постулюють, що продукування нового наукового знання в сучасних умовах є невіддільним від мережевої взаємодії та спільного доступу до цифрових артефактів. Основу операційно-діяльнісного компонента становить архітектура інтегрованого цифрового середовища, що поєднує можливості платформи Notion як інтелектуального простору для організації знань та екосистеми Google Workspace як комплексу утиліт для динамічного створення контенту. У межах теоретичного моделювання було визначено, що Notion виконує функцію центрального хабу наукового проєкту, забезпечуючи створення ієрархічних баз даних літературних джерел, ведення цифрових щоденників дослідження та візуалізацію етапів роботи за допомогою канбан-дошок. Своєю чергою, інструменти Google Workspace інтегруються в цей простір для забезпечення синхронного спільного редагування текстів, проведення відеоконсультацій та збору емпіричних даних. Теоретично доведено, що така інтеграція інструментів дозволяє подолати фрагментарність комунікації, перетворюючи розрізнені файли та повідомлення на єдину, структуровану

епістемічну систему. Крім того, розроблена модель передбачає зміну алгоритмів взаємодії: від традиційних дискретних консультацій до безперервного асинхронного супроводу, де науковий керівник отримує можливість здійснювати моніторинг прогресу через спільні цифрові інформаційні панелі.

Розроблена методична система засвідчує парадигмальний зсув у розумінні наукового керівництва: воно перестає бути трансляцією вказівок і перетворюється на цифрове фасилітаторство та академічне наставництво. Аналізуючи цей перехід, варто відзначити, що використання хмарних середовищ суттєво знижує транзакційні витрати часу на організаційні питання, вивільняючи ресурси для глибокого обговорення наукової проблеми. Дискусійним залишається питання когнітивного навантаження на здобувачів вищої освіти під час одночасного опанування складної методології наукового дослідження та багатофункціональних цифрових інструментів на кшталт Notion.

Розроблена теоретична модель методичної системи забезпечує перехід від лінійної до ітеративної моделі наукового пошуку, перетворюючи наукове керівництво на безперервний, прозорий та високотехнологічний процес спільного створення знань.

Список використаних джерел

1. ChatGPT and its impact on research supervision: Insights from Australian postgraduate research students / Y. Dai et al. *Australasian journal of educational technology*. 2023. Vol. 39, no. 4. P. 74–88. URL: https://doi.org/10.14742/ajet.8843 (date of access: 26.04.2026).

2. Impact of cloud computing on higher education institutions / J. Gamboa-Cruzado et al. *International journal of online and biomedical engineering (ijoe)*. 2025. Vol. 21, no. 12. P. 154–181. URL: https://doi.org/10.3991/ijoe.v21i12.56811 (date of access: 26.04.2026).

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХМАРНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ IoT-ПРОЄКТІВ

Пташник Вадим Вікторович
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, ptashnykproject@gmail.com
Станько Володимир Юрійович
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.е.н., доцент кафедри інформаційних технологій, vstanko@ukr.net

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLOUD PLATFORMS FOR EDUCATIONAL IOT PROJECTS

Ptashnyk Vadym Viktorovych
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Information Technologies, ptashnykproject@gmail.com
Stanko Volodymyr Yuriiovych
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Information Technologies, vstanko@ukr.net

The paper presents a comparative analysis of cloud platforms for educational IoT projects. Blynk, Arduino Cloud, ThingsBoard and Adafruit IO are assessed by technical functionality, free-tier availability, ease of use, documentation quality and user support. The results may support the selection of platforms for laboratory tasks, course projects and interdisciplinary IoT training.

Keywords: Internet of Things, cloud platforms, engineering education.

Активне впровадження технологій Інтернету речей в освітній процес потребує добору програмних платформ, які дають змогу швидко організувати збирання, передавання, збереження та візуалізацію даних без надмірного ускладнення апаратної частини. Особливо актуальним це є для навчальних

дисциплін, пов'язаних із мікроконтролерами, сенсорними мережами, розумними будинками та комп'ютерно-інтегрованими системами, де важливо не лише продемонструвати роботу окремого датчика, а й показати повний цикл функціонування IoT-системи: від сенсорного вузла до хмарної інформаційної панелі.

Метою роботи є порівняльне оцінювання хмарних платформ, які можуть використовуватися для реалізації навчальних IoT-проєктів. Для аналізу було обрано Blynk, Arduino Cloud, ThingsBoard та Adafruit IO як сервіси, що підтримують роботу з мікроконтролерними пристроями, передавання телеметрії та побудову інформаційних панелей. Основними джерелами для формування критеріїв порівняння стали офіційна документація платформ, сторінки тарифних планів, API-довідники, навчальні матеріали та ресурси користувацьких спільнот. Зокрема, враховувалися підтримувані протоколи обміну даними, безкоштовний функціонал, зручність початкового налаштування, якість інструкцій, доступність прикладів, відеоматеріалів і форумів підтримки. Окремі відмінності порівнюваних хмарних платформ наведено у (табл. 1).

Платформи відрізняються не лише технічними можливостями, а й методичною придатністю для різних рівнів підготовки студентів. Blynk і Arduino Cloud мають найнижчий поріг входження, оскільки дають змогу швидко перейти від підключення пристрою до побудови візуальної панелі [1, 2]. Це робить їх доцільними для вступних лабораторних робіт, де головною метою є розуміння загальної логіки IoT-системи. Arduino Cloud додатково має перевагу завдяки тісній інтеграції з Arduino-екосистемою та наявності освітніх матеріалів для викладачів і студентів. Передбачено безкоштовний доступ для двох окремих пристроїв та обмеження на кількість компіляцій.

Аналіз документації показав, що для платформи Blynk задокументовано використання MQTT і HTTPS API [1], Arduino Cloud має окремий розділ документації, присвячений реалізації IoT-проєктів [2], ThingsBoard підтримує обмін даними за протоколами MQTT, HTTP і CoAP [3], а Adafruit IO надає окремі API-довідники для роботи через HTTP та MQTT [4].

Таблиця 1. Порівняння хмарних платформ для навчальних IoT-проєктів

Платформа	Технічний функціонал	Безкоштовні можливості	Користувацька підтримка
Blynk	MQTT HTTP, веб чи мобільний інтерфейс, реєстрація події та автоматизація	обмежена кількість пристроїв, віджетів і функцій, мобільний застосунок	структурована документація, приклади коду, форум, відеоматеріали
Arduino Cloud	HTTP MQTT, інтеграція з Arduino-платами, віддалений моніторинг і керування	обмежена кількість пристроїв та хмарних ресурсів, ліміти на компіляцію	офіційні інструкції, приклади коду, відкрита спільнота Arduino
ThingsBoard	MQTT HTTP CoAP, віддалене керування пристроями, оброблення подій і правил	безкоштовна Community Edition на власному сервері або обмежений тариф	детальна документація, FAQ, відеоуроки, професійна спільнота
Adafruit IO	MQTT HTTP, аналіз потоків даних, інтеграція з Adafruit-бібліотеками	обмежена кількість потоків даних, частота записів та обсяг даних	Adafruit Learning System, форум, приклади проєктів

ThingsBoard має складнішу архітектуру, але краще підходить для завдань, де потрібно показати наближену до промислової логіку IoT-рішення: керування пристроями, оброблення телеметрії, побудову правил, масштабування та локальне розгортання [3]. Його перевагою для освітнього процесу

є можливість використання Community Edition без ліцензійних витрат, що важливо для навчальних лабораторій і студентських проєктів. Водночас складність налаштування може бути недоліком для початкового рівня, але перевагою для старших курсів, магістерських робіт і командних проєктів.

Adafruit IO доцільно розглядати як платформу для компактних навчальних завдань, пов'язаних із передаванням показників окремих сенсорів, побудовою простих інформаційних панелей і роботою з потоками даних. Її перевагою є поєднання хмарного сервісу з великою кількістю навчальних матеріалів Adafruit Learning System [4]. Водночас для масштабніших навчальних проєктів обмеження безкоштовного тарифу можуть потребувати переходу на платний план або використання альтернативної платформи. Офіційні матеріали Adafruit IO описують підтримку HTTP і MQTT, наявність безкоштовного базового тарифу та окремі навчальні ресурси.

Отже, вибір хмарної платформи для навчального IoT-проєкту має визначатися не лише кількістю технічних функцій, а й дидактичною метою заняття. Для швидкого ознайомлення студентів із принципами роботи IoT доцільно використовувати Blynk, Arduino Cloud або Adafruit IO. Для поглибленого вивчення архітектури IoT-систем, протоколів передавання даних, оброблення телеметрії та моделювання складніших сценаріїв доцільнішою є ThingsBoard. Запропонований підхід може бути використаний для розроблення лабораторних робіт, курсових проєктів і міждисциплінарних навчальних завдань.

Список використаних джерел

1. Blynk Documentation. Blynk : вебсайт. URL: https://docs.blynk.io/ (дата звернення: 11.05.2026).

2. Arduino Cloud Documentation. Arduino : вебсайт. URL: https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/ (дата звернення: 11.05.2026).

3. ThingsBoard Documentation. ThingsBoard : вебсайт. URL: https://thingsboard.io/docs/ (дата звернення: 11.05.2026).

4. Adafruit IO Documentation. Adafruit : вебсайт. URL: https://io.adafruit.com/api/docs/ (дата звернення: 11.05.2026).

ВИКЛИКИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ: СТРАТЕГІЇ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ В УМОВАХ ТРАНСКОРДОННОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Радуль Олександр Анатолійович
Український державний університет науки і технологій,
к.т.н., асистент кафедри інформаційних систем,
o.a.radul@ust.edu.ua

CHALLENGES OF DIGITALIZATION OF EDUCATION: STRATEGIES FOR PROTECTION OF PERSONAL DATA IN THE CONDITIONS OF TRANSBORDER INFORMATION SYSTEMS

Radul Oleksandr Anatoliyovych
Ukrainian State University of Science and Technology, Ph.D.,
Assistant of Department of Information Systems,
o.a.radul@ust.edu.ua

This paper analyzes the challenges of personal data protection in digital education. It emphasizes the need to harmonize Ukrainian educational IT projects with national laws and international standards like GDPR. Key focus areas include secure processing of data, implementing "the right to be forgotten," and managing cross-border data flows. The study concludes that a robust data strategy and legal compliance are fundamental for trust and competitiveness in modern e-learning.

Keywords: Personal data protection, GDPR, e-learning, educational IT projects, data privacy, digital education, legal compliance, cross-border data flow.

Стрімка трансформація освітніх проектів у площину дистанційного навчання та онлайн-платформ докорінно змінила архітектуру менеджменту знань. Проте технічна наявність веб-ресурсу для запуску освітнього продукту є лише інструментальною частиною, яка не гарантує автоматичного перебування проекту в правовому полі. У контексті використання інформаційних технологій в освіті та науці критичного значення

набуває захист персональних даних здобувачів. Оскільки цифрові послуги за своєю природою є транскордонними, українські провайдери освітнього контенту повинні гармонізувати свою діяльність не лише з вітчизняним законодавством, а й з міжнародними стандартами, зокрема Генеральним регламентом про захист даних (GDPR). Це стосується навіть тих закладів, що територіально знаходяться в Україні, але надають доступ до своїх ресурсів особам, які перебувають у просторі ЄС [1].

Національне регулювання обробки даних в інформаційних системах освіти базується на Законі України «Про захист персональних даних». Ключовим етапом інтеграції користувача в цифрову освітню екосистему є отримання задокументованої згоди на обробку відомостей. Враховуючи, що суб'єктами даних часто є неповнолітні особи, технологічні інтерфейси освітніх платформ мають передбачати коректні механізми верифікації згоди батьків або опікунів. Порушення встановленого порядку захисту, наприклад, через несанкціоноване оприлюднення даних у мережі Інтернет або відсутність належної системи доступу, веде до адміністративної відповідальності. Судова практика в Україні, зокрема у сфері освіти, демонструє чітку тенденцію до захисту прав суб'єктів даних, що підтверджується зростаючою кількістю справ щодо незаконної обробки інформації в цифровому просторі [2].

Міжнародний вектор захисту даних в освітніх ІТ-проектах вимагає впровадження специфічних технічних та процедурних рішень. Якщо освітній продукт рекламується в Європі, має іншомовні локалізації (крім англійської) або використовує серверні потужності на території ЄС, він автоматично потрапляє під дію регламенту GDPR. Це зобов'язує розробників та менеджерів проектів імплементувати такі цифрові права, як «право на забуття» (повне видалення даних за запитом) та «мобільність даних» (забезпечення доступу до інформації у зрозумілому та структурованому форматі). Крім того, архітектура освітньої платформи повинна включати системи негайного сповіщення про кіберінциденти або хакерські злами, що ставлять під загрозу конфіденційність учасників освітнього процесу.

Використання сучасних інформаційних технологій в освіті вимагає від надавачів послуг розробки комплексної стратегії поводження з даними, а не лише імітації відповідності нормам. Це включає визначення чітких алгоритмів обробки, встановлення термінів зберігання та розробку політик неможливості несанкціонованої передачі інформації третім особам. Лише за умови поєднання інноваційних методів навчання з надійними механізмами кіберзахисту та правовим комплаєнсом освітній проект може вважатися конкурентоспроможним у сучасному цифровому світі. Ефективний захист персональних даних стає не просто юридичним обов'язком, а фундаментом довіри в системі електронної освіти та науки [3].

Список використаних джерел

1. Падалка О. Захист персональних даних в освітніх проектах. 2021. URL: https://dominanta-law.com/zakhyst-personalnykh-danykh-v-osvitnikh-proektakh (дата звернення: 06.05.2026).

2. Гончаренко Н. Сучасні освітні технології: теорія і практика. Харків : Педагогічна преса, 2018. 312 с.

3. Освітні технології : навч.-метод. посіб. / О. М. Пєхота та ін. ; за ред. О. М. Пєхоти. Київ : А.С.К., 2002. 255 с.

ВЕКТОРНІ БАЗИ ДАНИХ ТА RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION У ПОБУДОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ОСВІТНІХ СИСТЕМ

Ройко Олександр Юрійович
Волинський фаховий коледж Національного університету харчових технологій, викладач, кандидат технічних наук,
ol.roiko@icloud.com

VECTOR DATABASES AND RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION IN BUILDING INTELLIGENT EDUCATIONAL SYSTEMS

Roiko Oleksandr Yuriyovych
Volyn Professional College of National University of Food Technologies, Lecturer, Candidate of Technical Sciences,
ol.roiko@icloud.com

The paper examines the application of vector databases and Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture for building intelligent educational systems. The proposed approach enables context-aware retrieval of educational content, improving student support and knowledge assessment.

Keywords: vector databases, RAG, LLM, educational systems, semantic search, LMS.

Стрімкий розвиток великих мовних моделей (Large Language Models, LLM) відкриває нові можливості для побудови інтелектуальних освітніх систем. Однак використання LLM у «чистому» вигляді має суттєве обмеження: модель оперує лише знаннями, закладеними під час навчання, і не має доступу до актуального або специфічного для предметної області контенту. Саме це обмеження усуває архітектура Retrieval-Augmented Generation (RAG) у поєднанні з векторними базами даних.

Векторна база даних — це система зберігання даних, оптимізована для роботи з векторними ембедингами (числовими представленнями семантичного змісту тексту) [1]. На відміну від реляційних СУБД, де пошук базується на точному збігу значень,

векторні БД реалізують наближений пошук найближчих сусідів (Approximate Nearest Neighbor, ANN), що дозволяє знаходити семантично споріднені фрагменти тексту навіть за відсутності лексичного збігу. Серед сучасних рішень виділяються як спеціалізовані системи (Pinecone, Weaviate, Qdrant), так і розширення для традиційних СУБД (pgvector для PostgreSQL).

Запропонована архітектура функціонує у двох окремих режимах: офлайн-індексація навчальних матеріалів та онлайн-обробка запитів студентів. Схему взаємодії компонентів наведено на рис. 1.

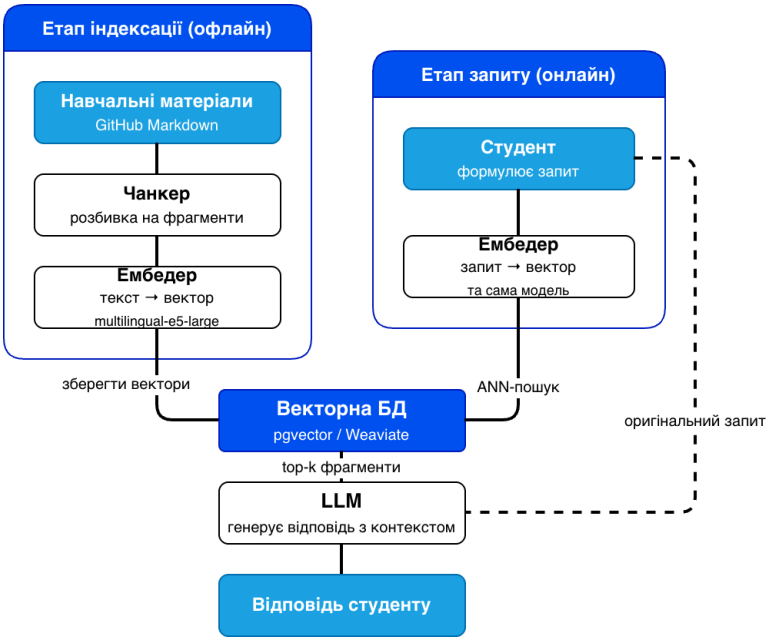


Рисунок 1. Архітектура RAG-системи для інтелектуального освітнього асистента

На етапі індексації навчальні матеріали (тексти лекцій, умови завдань, документація) розбиваються на фрагменти (chunks) за допомогою спеціалізованого чанкера [2]. Кожен фрагмент перетворюється моделлю-ембедером на числовий вектор і зберігається у векторній БД разом з метаданими

(дисципліна, тема, тип контенту, посилання на джерело). Цей процес виконується одноразово або при оновленні матеріалів курсу.

На етапі запиту текст студента також перетворюється на вектор тим самим ембедером, після чого система виконує ANN-пошук у векторній БД і повертає k найближчих за семантикою фрагментів. Ці фрагменти разом з оригінальним запитом передаються у контекст LLM, яка генерує відповідь, спираючись виключно на релевантний навчальний матеріал. Це суттєво знижує ризик «галюцинацій» та забезпечує прив'язку відповідей до конкретної предметної програми [3].

Ключовою технічною проблемою при реалізації є якість чанкінгу — розбиття вихідного тексту на фрагменти. Надто малі фрагменти втрачають контекст, надто великі знижують точність пошуку.

У академічних текстах ефективним є семантичний чанкінг за структурними одиницями (розділ, підрозділ, параграф) з частковим перекриттям (overlap) сусідніх фрагментів у 10–15%. Додатковим чинником якості є вибір моделі ембедингів: мультилінгвальні моделі (multilingual-e5-large, paraphrase-multilingual-mpnet-base-v2) демонструють прийнятну точність для україномовного контенту, хоча поступаються спеціалізованим моделям на англомовних корпусах. Важливим аспектом є стратегія метаданих. Зберігання разом з вектором структурованих метаданих (назва дисципліни, тема, тип матеріалу, рівень складності) дозволяє застосовувати гібридну фільтрацію: спочатку відсіювати за метаданими (наприклад, лише матеріали поточної теми), а потім виконувати семантичний пошук у звуженій множині. Це підвищує precision@k без суттєвого впливу на recall.

З точки зору інтеграції з Moodle, платформа надає REST API для доступу до ресурсів курсу. Перспективним підходом є побудова окремого мікросервісу (Python + FastAPI), який виконує індексацію матеріалів через Moodle REST API та надає ендпоінт для семантичного пошуку.

Для оцінювання якості системи доцільно використовувати

метрики precision@k та NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain), що враховує не лише релевантність, а й позицію у списку результатів. Базова лінія для порівняння — повнотекстовий пошук Moodle на основі BM25.

Таким чином, поєднання векторних баз даних та RAG-архітектури є перспективним напрямом для побудови освітніх систем нового покоління. Семантичний пошук забезпечує якісно вищий рівень релевантності порівняно з традиційними повнотекстовими механізмами. Подальші дослідження доцільно спрямувати на порівняльне оцінювання метрик точності для різних стратегій чанкінгу та моделей ембедингів на україномовних навчальних корпусах, а також на розробку методики автоматичного формування розмітки релевантності для навчальних запитань.

Список використаних джерел

1. EPAM Ukraine. Використання векторних баз даних у генеративному штучному інтелекті. – Режим доступу: https://careers.epam.ua/blog/using-vector-databases-in-generative-ai.

2. QuData. Знайомство з RAG: що таке генерація з доповненим пошуком. – Режим доступу: https://qudata.com/uk/blog/rag-explained-ai-behind-retrieval-augmented-generation/.

3. ITHillel. Що таке RAG і як його можна використовувати на практиці? – Режим доступу: https://blog.ithillel.ua/articles/what-is-rag.

4. Кок, П. А., Батюк, А. Є. Смарт-система семантичного пошуку текстових даних. Scientific Bulletin of UNFU, 35(6), 70–75. – Режим доступу: https://doi.org/10.36930/40350608.

ПОРІВНЯННЯ СТРУКТУРИ ШКІЛЬНОЇ ІНФОРМАТИКИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ВЕЛИКОЇ СІМКИ

Саварин Павло Вікторович
ЛНТУ, к.пед.н., доцент кафедри ЦОТ, savaryn.pasha@lntu.edu.ua
Лобацький Андрій Олександрович
ЛНТУ, к.пед.н., ст.викл. кафедри ЦОТ, a.lobatskyi@lntu.edu.ua

COMPARISON OF THE STRUCTURE OF SCHOOL INFORMATICS IN UKRAINE AND THE G7 COUNTRIES

Pavlo Savaryn
LNTU, PhD, Associate Professor of the Department of Digital Educational Technologies, savaryn.pasha@lntu.edu.ua
Andrii Lobatskyi
LNTU, PhD, Senior Lecturer of the Department of Digital Educational Technologies, savaryn.pasha@lntu.edu.ua

The paper compares the structure of school informatics in Ukraine and the G7 countries. Ukraine uses a more centralized model that combines digital literacy, ICT skills, and programming within a single school subject. G7 countries more often separate computing, computer science, and digital literacy, with stronger emphasis on project-based work and computational thinking.

Keywords: school informatics, Ukraine, G7, computing, digital literacy.

Шкільна інформатика сьогодні є важливою складовою цифрової освіти. В Україні цей предмет має розвивально-компетентнісну основу: у 5–9 класах він поєднує базову ІКТ-підготовку, роботу з інформацією та елементи алгоритмізації й програмування. У старшій школі інформатика може вивчатися як вибірково-обов'язковий або профільний курс, що дає змогу поглиблювати окремі напрями [1, 2].

У країнах Великої сімки підхід до інформатики зазвичай більш диференційований. У Великій Британії computing є обов'язковим предметом і орієнтованим на computational thinking («обчислювальне мислення» або «алгоритмічне мислення»),

програмування, цифрові системи та безпеку. В інших країнах Великої сімки інформатика часто реалізується як окремий курс або інтегрується в STEM-освіту, медіаграмотність і роботу з даними [3, 4].

Порівняння показує, що українська модель є більш уніфікованою та нормативно впорядкованою, тоді як моделі країн Великої сімки – гнучкішими та практико-орієнтованими. В Україні в одному предметі поєднано цифрову грамотність, користувацькі навички та початки програмування, а в країнах Великої сімки частіше розмежовують інформатику як науку, цифрову грамотність як базову компетентність і проєктну діяльність як форму навчання.

Отже, зближення української шкільної інформатики з міжнародними тенденціями можливе через посилення програмування, роботи з даними та проєктного навчання. Це дозволить краще підготувати учнів до цифрового суспільства та сучасного ринку праці.

Список використаних джерел

1. Інформатика. Програма для 5-9-х класів закладів загальної середньої освіти. URL: https://osvita.ua/school/program/program-5-9/56131/ (дата звернення: 11.05.2026).

2. Про затвердження Типових навчальних планів загальноосвітніх навчальних закладів І ступеня. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 квітня 2011 р. № 1392 (із змінами від 21.08.2013). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-2011-п/ed20130821 (дата звернення: 12.05.2026).

3. Primary national curriculum – Computing. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c576be5274a1b00423213/PRIMARY_national_curriculum_-_Computing.pdf (дата звернення: 11.05.2026).

4. G7 Education Ministers' Meeting. Report of the G7 on Education. G7 Italy. 2024. URL: https://www.g7italy.it/wp-content/uploads/Report-of-the-G7-on-Education.pdf (дата звернення: 11.05.2026).

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У НАУЦІ ТА ОСВІТІ: СИНЕРГІЯ ІННОВАЦІЙ І РОЗВИТКУ

Сидорук Людмила Миколаївна
Навчально-реабілітаційний заклад вищої освіти «Кам'янець-Подільський державний інститут», викладач кафедри цифрових, освітніх та соціо-економічних технологій, доктор філософії в галузі педагогіки, l_sudoryk@ukr.net
Салтиков Богдан Геннадійович
Навчально-реабілітаційний заклад вищої освіти «Кам'янець-Подільський державний інститут», студент, saltykovbohdan@gmail.com

DIGITAL TECHNOLOGIES IN SCIENCE AND EDUCATION: SYNERGY OF INNOVATION AND DEVELOPMENT

Sydoruk Liudmyla Mykolaivna
Educational and Rehabilitation Institution of Higher Education «Kamianets-Podilskyi State Institute», Lecturer at the Department of Digital, Educational, and Socio-Economic Technologies, Doctor of Philosophy in Pedagogy, l_sudoryk@ukr.net
Saltykov Bohdan
Educational and Rehabilitation Institution of Higher Education «Kamianets-Podilskyi State Institute», student, saltykovbohdan@gmail.com

The abstracts analyze the integration of digital technologies into the educational and scientific environment as a key factor in their synergy. The practical aspects of applying cloud technologies, computer simulations, and Big Data analytics to enhance research efficiency and modernize the educational process are considered. Emphasis is placed on building a scientist's digital brand through professional networking, as well as on current challenges in cybersecurity and academic integrity.

Keywords: digital technologies, digitalization of education, synergy of science and education, cloud computing, computer simulations, big data, digital brand, cybersecurity.

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується

тотальною цифровізацією всіх сфер життєдіяльності. У цьому контексті наука та освіта виступають не лише як об'єкти трансформації, але й як головна рушійна сила інноваційного прогресу. Інтеграція інформаційних технологій у ці галузі вже давно вийшла за межі простої автоматизації рутинних процесів. Сьогодні вона перетворилася на потужний каталізатор синергії, що стимулює розвиток принципово нових методів досліджень, розширює горизонти педагогічних підходів та створює єдину екосистему для генерації та передачі знань.

Одним із найвагоміших інструментів такої інтеграції є хмарні технології, які докорінно змінили архітектуру професійної освіти та наукових досліджень. Використання хмарних обчислень забезпечує безперервний, швидкий та масштабований доступ до великих масивів даних, складних наукових баз та віртуальних лабораторій незалежно від географічного розташування користувача. У контексті підготовки фахівців, хмарні інфраструктури дозволяють реалізувати концепцію неперервного доступу до знань, сприяючи спільній роботі над дослідницькими проєктами в режимі реального часу [3. с. 7-8]. Це формує глобальний інформаційний простір, де результати передових наукових експериментів можуть бути миттєво імплементовані в освітній процес, скорочуючи розрив між теоретичною наукою та практичним навчанням.

Важливим вектором розвитку цифрових освітніх та наукових технологій є впровадження методів гейміфікації та створення складних віртуальних симуляцій. Розробка інтерактивних середовищ, що імітують реальні умови, дозволяє здобувачам експериментувати з параметрами різноманітних систем, вивчати механіку фізичних, хімічних чи технологічних процесів без жодних ризиків для реального обладнання [2. с.1601-1602]. Використання таких середовищ вимагає від розробників застосування надійних архітектурних рішень, патернів проєктування та об'єктно-орієнтованого підходу. Водночас для користувачів занурення у процес налаштування таких симуляцій (через управління конфігураційними даними або логікою процесів) стає потужним стимулом, який розвиває інженерне мислення та навички вирішення нетривіальних алгоритмічних

завдань.

Синергія цифрових інновацій в науці та освіті також яскраво проявляється у використанні аналітики великих даних (Big Data). Сучасні наукові дослідження генерують колосальні обсяги інформації, обробка якої вимагає застосування передових математичних алгоритмів та інструментів асинхронного програмування для швидкого виявлення прихованих закономірностей [3, с. 11]. Водночас ці ж аналітичні технології успішно застосовуються в освіті для побудови індивідуальних траєкторій навчання, предиктивного аналізу успішності здобувачів та динамічної адаптації навчального контенту до їхніх персональних потреб і здібностей.

Невіддільною частиною такої адаптивної моделі стає використання спеціалізованих платформ для спільної розробки та системного управління проєктами [3, с. 11]. Сучасний освітній процес дедалі частіше імплементує підходи, запозичені з професійного середовища інженерії та розробки, де здобувачі вчаться структурувати великі масиви інформації у виділених директоріях, гнучко налаштовувати параметри дослідницького середовища та відстежувати детальні журнали змін під час колективної роботи. Це не лише забезпечує високу прозорість наукового пошуку, але й створює потужну рушійну силу та фундаментальну основу для розвитку навичок взаємодії у розподілених цифрових екосистемах, готуючи фахівців до реальних викликів глобального проєктного менеджменту.

Окремо слід відзначити зростаючу роль цифрового брендингу в сучасному академічному середовищі. Платформи професійного нетворкінгу перетворилися на невіддільну складову кар'єрного орієнтування. Цифровий слід, який цілеспрямовано формується через публікації, участь у фахових дискусіях та візуальну презентацію наукових здобутків у мережі, безпосередньо впливає на можливості міжнародної колаборації, отримання грантового фінансування та загальну інтеграцію фахівця у світове наукове співтовариство. Тому ефективне управління власним професійним профілем у цифровому просторі стає обов'язковою та невід'ємною компетентністю.

Водночас, активне та повсюдне впровадження цифрових

технологій актуалізує критично важливі питання кібербезпеки та академічної доброчесності. Відкритість наукових даних та загальнодоступність освітніх матеріалів вимагають розробки принципово нових, надійних механізмів захисту прав інтелектуальної власності та верифікації першоджерел інформації. Формування високої культури безпечного поводження в цифровому середовищі стає обов'язковою складовою базової підготовки як студентів, так і досвідчених наукових співробітників.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що сучасні цифрові технології не просто забезпечують інструментальну або сервісну підтримку науки та освіти. Вони формують нову, життєздатну парадигму їхнього взаємозв'язку. Інновації, що зароджуються в наукових лабораторіях (передові алгоритми обробки інформації, нові протоколи, вдосконалені хмарні архітектури), швидко і масштабно адаптуються для потреб освітнього процесу. Зі свого боку, високотехнологічна цифровізована система освіти готує кваліфікованих фахівців, здатних ефективно та креативно використовувати ці інструменти для подальшого життя. Саме ця безперервна синергія є надійною запорукою стійкого інноваційного розвитку сучасного суспільства та успішної побудови економіки знань.

Список використаних джерел

1. Орлов О. П., Лазарєв О. М. Цифрова трансформація освіти: перспективи розвитку. Сучасний стан та тенденції розвитку науки та освіти. 2026. С. 38–41. URL: https://doi.org/10.64076/ihrc260105.03
2. Фрицюк В., Фрицюк В. Інтерактивні технології у професійній підготовці майбутніх фахівців. Наука і техніка сьогодні. 2025. № 11(52). URL: https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-11(52)-1599-1611
3. Хмарні технології в освіті / ред.: В. Ю. Биков та ін. Вид. від. КМІ, 2012. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/840/1/cloud.pdf

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ТА РОБОЧИХ ПЛАНІВ

Станько Володимир Юрійович
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.е.н., доцент кафедри інформаційних технологій, wlad.stanko@gmail.com
Пташник Вадим Вікторович
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, ptashnykproject@gmail.com
Желєзняк Алла Михайлівна
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.е.н., доцент кафедри інформаційних технологій, azheleznjak@ukr.net
Станько Світлана Володимирівна
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького, к.е.н., доцент кафедри геодезії і геоінформатики, stsvv75@gmail.com

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR DESIGNING EDUCATIONAL AND WORKING CURRICULA

Stanko Volodymyr Yuriyovych
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Information Technologies, wlad.stanko@gmail.com
Ptashnyk Vadym Viktorovych
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Information Technologies, ptashnykproject@gmail.com
Zhelyeznyak Alla Mykhailivna
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Information Technologies, azheleznjak@ukr.net
Stanko Svitlana Volodymyrivna
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, PhD, Associate Professor at the Department of Geodesy and Geoinformatics, stsvv75@gmail.com

The paper presents an automated information system for designing educational and working curricula in Ukrainian higher education institutions. The system uses cloud-based Google Sheets and provides structured data entry, automatic calculations, workload validation, and collaborative editing. Its use reduces technical errors, improves consistency, and simplifies educational documentation management.

Keywords: automated information system, curriculum planning, working curricula, cloud-based spreadsheets.

Формування навчальних та робочих навчальних планів є одним із важливих етапів організації освітнього процесу в закладах освіти. Цей процес вимагає дотримання стандартів вищої освіти, вимог НАЗЯВО та внутрішніх положень, що робить планування критично важливим для акредитації та якості освітнього процесу. Також він передбачає узгодження значної кількості даних, зокрема переліку освітніх компонентів, обсягу кредитів ЄКТС, кількості аудиторних і самостійних годин, форм підсумкового контролю, розподілу освітніх компонент за семестрами, відповідності освітній програмі та чинним нормативним вимогам. За умови ручного опрацювання таких даних зростає ризик технічних помилок, дублювання інформації, неузгодженості між різними версіями документів, а також ускладнюється колективна робота гаранта, членів проєктної групи, навчального відділу та відповідальних працівників кафедр.

Метою роботи є розроблення автоматизованої інформаційної системи, призначеної для спрощення, уніфікації та контролю процесу формування навчальних і робочих навчальних планів. Основою запропонованої системи є використання принципу «Single Source of Truth» (єдине джерело істини) – дані вносяться один раз у довідник і автоматично використовуються у всіх похідних документах. Хмарні сервіси Google забезпечують зручне введення, збереження, редагування та спільну роботу без необхідності встановлення спеціалізованого програмного забезпечення на локальні комп’ютери користувачів.

Розроблена система реалізована у вигляді набору ієрархічно

пов’язаних модулів. В яких відбувається введення початкових даних, формування структури освітньої програми, переліку обов’язкових і вибіркових освітніх компонентів, розподіл кредитів і годин, семестрове планування, визначення форм контролю, генерація підсумкових таблиць та підготовлених для друку документів. Такий підхід дає змогу уникнути багаторазового введення однакової інформації, оскільки дані, внесені в базові таблиці, автоматично підтягуються для формування пов’язаних розділів документа.

Важливою складовою системи є здійснення понад 15 автоматичних перевірок у реальному часі за створеними правилами з використанням формул, випадаючих списків уніфікованих даних та умовного форматування. Це дозволяє контролювати коректність введеної інформації, виявляти перевищення або нестачу кредитів, помилок у розподілі годин, невідповідність кількості семестрів, некоректно заданих форм контролю чи дублювання освітніх компонент. Завдяки цьому система виконує не лише функцію збереження даних, а й функцію попереднього логічного контролю структури навчального плану.

Перевагою використання Google Sheets є підтримка спільної роботи, автоматичне збереження змін, історія редагування та можливість налаштування прав доступу. Адмініструванням, оновленням функціоналу системи, керуванням загальною структурою та редагуванням довідників займається навчальний відділ закладу освіти. Гарант освітньої програми та проєктна група відповідають за заповнення структури освітньої програми, розподіл освітніх компонент, годин та форм контролю. Для керівництва ЗВО та стейкголдерів з метою моніторингу передбачено режим перегляду стану підготовки документації. Це особливо важливо під час оновлення освітніх програм, підготовки матеріалів до акредитації, погодження навчальних планів між кафедрами та навчальними підрозділами. Хмарна реалізація також спрощує доступ до актуальної версії документа та зменшує ризик роботи із застарілими файлами.

Запропонована автоматизована інформаційна система може використовуватися як інструмент внутрішньої організації

освітнього процесу, а також як допоміжний засіб для підготовки документації освітніх програм. Її впровадження сприяє підвищенню прозорості планування, зменшенню кількості технічних помилок, скороченню часу на технічне узгодження навчального плану, нівелюванню ризиків виникнення математичних помилок у розподілі годин та загальному покращенню взаємодії між учасниками освітнього процесу.

Використання хмарних сервісів на базі електронних таблиць Google як основи автоматизованої інформаційної системи є доцільним рішенням для закладів освіти, які потребують гнучкого, доступного та зручного інструменту для організації освітнього процесу. Подальший розвиток системи наразі спрямований на розширення функцій автоматичної генерації друкованих форм та інтеграцію з іншими внутрішніми інформаційними системами закладу освіти; також можливе впровадження додаткових засобів аналітики освітніх програм.

Список використаних джерел

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII. Відомості Верховної Ради. 2014. № 37–38. Ст. 2004.

2. Про затвердження Типового положення про організацію освітнього процесу в закладах фахової передвищої освіти та Положення про практичну підготовку здобувачів фахової передвищої освіти : Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.05.2023 № 510.

3. Стецик С. П., Гарбар О. А. Хмарні технології як інноваційна основа розвитку цифрового освітнього середовища закладу вищої освіти. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2024. Вип. 23 (30). С. 84–92. DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series2.2024.23(30).08.

ІНТЕРАКТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХОНЬ У DESMOS ЯК ПРОПЕДЕВТИКА ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦІЇ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

Тулученко Галина Яківна
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», д.т.н., професор кафедри вищої математики, tuluchenko@ukr.net
Чугунов Володимир Іванович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент, Volodymyr.Chuhunov@ieee.khpi.edu.ua

INTERACTIVE MODELING OF LOCAL SURFACE PROPERTIES IN DESMOS: A FOUNDATION FOR SURFACE SEGMENTATION IN ROBOTIC VISION

Halyna Yakivna Tuluchenko
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, tuluchenko@ukr.net
Volodymyr Ivanovych Chuhunov
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student, Volodymyr.Chuhunov@ieee.khpi.edu.ua

An interactive Desmos application for visualizing the differential geometric characteristics of parametric surfaces has been developed. The algorithm is based on calculating vector fields of normals and constructing the Gauss spherical image. Using the examples of Enneper's surface and catenoid, the dynamics of Gaussian mapping and the methodology for surface orientation analysis are demonstrated. The proposed toolkit allows for studying the distribution density of normals, providing a foundation for learning engineering segmentation and object recognition tasks.

Keywords: interactive modeling, Desmos, differential geometry, normal vector field, Gauss map, engineering segmentation.

Сучасний розвиток систем технічного зору та робототехніки вимагає від майбутніх інженерів глибокого розуміння методів диференціальної геометрії для розв'язання задач сегментації та розпізнавання об'єктів.

Одним із фундаментальних інструментів аналізу локальної геометрії є відображення Гаусса, яке дозволяє оцінювати орієнтацію та кривину поверхні через її сферичний образ. Використання інтерактивного середовища Desmos [1] дозволяє візуалізувати цей процес шляхом побудови дискретних моделей векторних полів нормалей. Такий підхід трансформує вивчення частинних похідних та диференціальних характеристик поверхонь [2] у дослідницьку задачу, що є пропедевтикою до опанування сучасних дескрипторів геометричних примітивів (наприклад, гістограм нормалей).

Для апробації методу обрано поверхню Еннепера та катеноїд, які є класичними об'єктами диференціальної геометрії з нетривіальними варіаціями локальної кривини та складними самоперетинами (у випадку поверхні Еннепера), що робить їх показовими для аналізу орієнтації нормалей.

Варто зазначити, що наявні освітні застосунки у середовищі Desmos та в інших популярних системах (наприклад, GeoGebra) обмежуються лише візуалізацією геометрії самих поверхонь, не пропонуючи інструментарію для дослідження відображення Гаусса. В основі нашої розробки лежить універсальний алгоритм візуалізації диференціальних характеристик для довільної параметрично заданої поверхні:

$$\mathbf{r}(u,v) = \big(x(u,v), y(u,v), z(u,v)\big),$$

де заміна аналітичного опису об'єкта автоматично приводить до повної перебудови візуалізації нормалей та їхнього сферичного образу.

Процес моделювання реалізовано через такі етапи:

1. *Дискретизація області визначення***.** Створення двовимірних списків значень параметрів (u,v) для формування хмари точок на поверхні.
2. *Обчислення локального базису*. Визначення частинних

похідних $\mathbf{r}_u = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u}$ та $\mathbf{r}_v = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v}$, що задають дотичну площину в кожному вузлі сітки.

3. *Формування поля нормалей.* Розрахунок векторного добутку $\mathbf{n} = \mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v$ з наступною нормалізацією $\mathbf{N} = \mathbf{n} / |\mathbf{n}|$. Це дозволяє отримати одиничні вектори, що визначають орієнтацію поверхні.
4. *Побудова сферичного образу.* Отримані нормалі $\mathbf{N}$ транслюються в центр допоміжної сфери, формуючи дискретне відображення Гаусса, яке ілюструє топологічні особливості об'єкта.

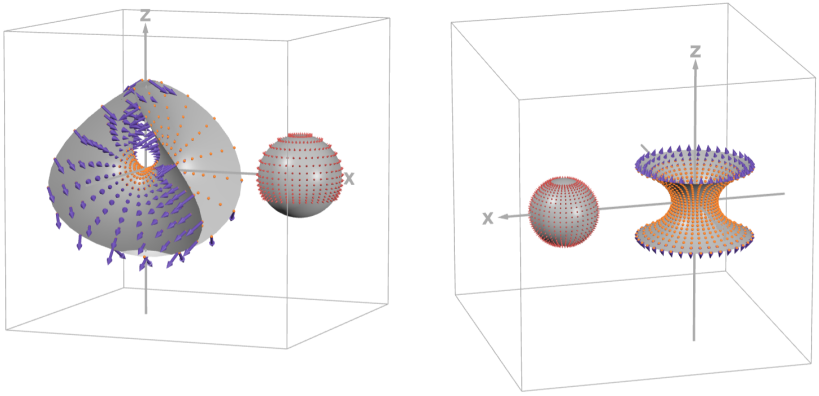
Ефективність такої універсальної моделі продемонстровано на прикладах мінімальних поверхонь із різною топологією, аналіз яких є базовим для розуміння принципів групування даних у задачах інженерної сегментації:

- *поверхня Еннепера* – ілюструє поведінку нормалей на ділянках із самоперетинами, де сферичний образ наочно показує кратність відображення (рис. 1а);
- *катеноїд* – як поверхня обертання, дозволяє простежити закономірності розподілу нормалей для симетричних структур, що утворюють на сфері Гаусса характерні структуровані зони (рис. 1б).

Динаміка заповнення сферичного образу при розширенні меж параметрів (u, v) демонструє топологічні особливості об'єктів: для поверхні Еннепера характерне меридіональне розгортання (від полюсів), а для катеноїда – симетричне розходження від екватора.

Для детального вивчення зон із високою щільністю розподілу нормалей реалізовано інструмент масштабування радіуса сфери. Це дозволяє уникнути накладання точок і чітко розрізнити структуру дискретної множини, що зазвичай нівелюється при стандартній візуалізації на одиничній сфері.

Висновки. Реалізація наскрізних дослідницьких задач у середовищі Desmos забезпечує прикладну спрямованість курсу вищої математики для майбутніх фахівців із робототехніки.



а) б)

Рисунок 1. Візуалізація диференціально-геометричних характеристик у середовищі Desmos: а) для поверхні Еннепера; б) для катеноїда

Використання інтерактивного моделювання дозволяє студентам простежити прямий зв'язок між аналітичними операціями та геометричними властивостями об'єктів, формуючи пропедевтичну базу для опанування алгоритмів сегментації поверхонь у системах технічного зору. Такий підхід забезпечує наступність навчання між фундаментальною математичною підготовкою і фаховими дисциплінами. Він конвертує абстрактні математичні обчислення у фундаментальні інженерні компетенції, необхідні для розпізнавання геометричних примітивів та орієнтації робототехнічних систем у просторі.

Список використаних джерел

1. Тітова, Л. О. (2024). Desmos Studio як засіб ресурсно-орієнтованого навчання майбутніх учителів математики. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Ресурсно-орієнтоване навчання в "3D": доступність, діалог, динаміка»*, 280–283.

2. Malkowsky, E., Dolićanin, Ć., & Veličković, V. (2023). Differential Geometry and Its Visualization (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. https://doi.org/10.1201/9781003370567

ПСИХОЛОГІЯ КОМАНДНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДАЧА ВВНЗ В ЕПОХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Хміляр Олег Федорович
Національний університет оборони України, доктор психологічних наук, професор, начальник науково-дослідного центру проблем фізичного виховання, спеціальної фізичної підготовки і спорту навчально-наукового інституту фізичної культури та спортивно-оздоровчих технологій, полковник
hmilar@ukr.net
Малафєєв Олег Сергійович
Національний університет оборони України, слухач навчальної групи 7208, malafeevoleg866@gmail.com

PSYCHOLOGY OF TEAMWORK OF HIGHER EDUCATIONAL TEACHERS IN THE AGE OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Khmiliar Oleh Fedorovych
National Defense University of Ukraine,
Head of the Research Center for Problems of Physical Education, Special Physical Training and Sports of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture and Sports and Recreation Technologies, doctor of Psychological Sciences, Professor,
hmilar@ukr.net
Malafieiev Oleh Serhiyovych
National Defense University of Ukraine, student of study group 7208, malafeevoleg866@gmail.com

In the military-educational environment, team formation has unique psychological and information-technological determinants. A high level of functional interdependence dominates the team. Modern information technologies make it possible to develop coordinated interaction in various tactical schemes (tank crew, artillery crew, special forces group). The theses reveal the Mission Command philosophy, which is adopted in the armies of NATO countries.

Keywords: team, Mission Command, teacher, education.

Сучасна архітектура національної безпеки України перебуває у стані перманентної трансформації, що зумовлено як зовнішніми викликами широкомасштабної збройної агресії, так і внутрішніми процесами реформування військової сфери згідно зі стандартами НАТО. У цьому контексті вища військова освіта постає не лише як інституція підготовки інформаційно грамотних фахівців, а як фундаментальна платформа для формування нового типу військового лідера, здатного діяти в умовах мережецентричних воєн. Ключовим елементом такої підготовки є перехід від індивідуалістичного або жорстко-колективістського підходу до командно орієнтованої парадигми.

На відміну від формальної ієрархії, де командир є незмінним джерелом наказів, у команді в момент критичної ситуації лідерство може переходити до того фахівця, чия компетенція є найбільш затребуваною [1]. Викладач ВВНЗ, розуміючи цю динаміку, має виховувати в курсантів не лише виконавчість, а й здатність брати на себе лідерські функції у межах своєї зони відповідальності [2].

Методологічним фундаментом переходу до командної моделі є філософія Mission Command, прийнята в арміях країн НАТО. Ця концепція базується на довірі та розумінні «наміру командира» (Commander's Intent). Психологічна перевага цієї моделі над традиційною ієрархічною полягає в наданні підлеглим високого ступеня автономії [2; 3]. У команді, сформованій за таким принципом, курсанти вчаться діяти самостійно, керуючись не детальним алгоритмом, а загальною метою. Це вимагає від викладача ВВНЗ зміни власної рольової позиції: від «контролера-наглядача» до «фасилітатора-модератора» [4].

Особливе місце у теоретичному аналізі займає концепція «Команди команд» (Team of Teams) генерала С. Маккрістала [5]. Вона пропонує поєднати ефективність вертикальної ієрархії з гнучкістю та швидкістю мережевих структур. Для ВВНЗ це означає необхідність формування в курсантів так званої «спільної свідомості». Це інтегративний когнітивний процес, за якого інформація та розуміння ситуації поширюються горизонтально між усіма членами команди, що дає змогу досягати неймовірної

швидкості реакції [3].

Розуміння команди як динамічної системи вимагає аналізу її життєвого циклу та внутрішньої архітектури ролей. У військово-освітньому середовищі, де склад груп часто визначається директивно, процес перетворення формального об'єднання курсантів у цілісний бойовий організм підпорядковується закономірностям групової динаміки. Найбільш ґрунтовною й перевіреною практикою є модель Брюса Такмена, яка виділяє чотири послідовні стадії розвитку.

Стадія Формування (Forming) у ВВНЗ розпочинається з моменту об'єднання абітурієнтів у підрозділи. На цьому етапі домінує стан когнітивного дисонансу та соціальної тривоги. Курсанти, опинившись у новому, жорстко регламентованому середовищі, намагаються ідентифікувати ієрархію, зрозуміти межі дозволеного та з'ясувати справжні вимоги командирів і викладачів. Психологічно цей період характеризується «тестуванням» середовища. Взаємодія має підкреслено ввічливий, але подекуди відчужений характер. Викладач на цій стадії має діяти як «архітектор смислів» – чітко визначати цілі, встановлювати стандарти та створювати безпечні межі [3].

Перехід до стадії Штурму (Storming) є неминучим і найбільш хворобливим етапом. Це період децентралізації й боротьби за неформальне лідерство. У курсантському середовищі штурм виявляється через конфлікти навколо розподілу обов'язків, випробування авторитету молодших командирів і викладачів. Психологічна напруга виникає через розрив між індивідуальними амбіціями та потребами групи. Багато педагогів помилково намагаються придушити прояви штурму адміністративним тиском. Проте з погляду військової психології, цей етап є конструктивним: саме тут гартується здатність підрозділу витримувати внутрішній тиск. Завдання викладача – не «загасити» конфлікт, а перетворити його на дискусію щодо методів досягнення спільної мети [1; 4].

На стадії Нормування (Norming) група починає виробляти власну субкультуру. Виникає когезія – психологічне зчеплення членів групи. На зміну конфліктам приходить спільне прийняття

правил гри. У військових підрозділах це проявляється у виникненні специфічного гумору, традицій допомоги один одному («свій-чужий») та усвідомленні колективної відповідальності.

Вершиною розвитку є стадія Виконання (Performing). Це стан функціональної автономії, де команда працює як єдиний механізм. У бойових умовах це проявляється у здатності розуміти один одного без слів, передбачати дії партнера й миттєво реагувати на зміну обстановки [1]. В освітньому процесі така команда демонструє здатність самостійно планувати та реалізовувати складні тактичні задачі, де викладач виступає лише в ролі зовнішнього спостерігача або консультанта.

Список використаних джерел

1. Хміляр О. Ф. (2024). Команда серед команд. Чому мала команда є ефективною бойовою одиницею? *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. *Психологія*, (1), 53-59. https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2024.1.10 157.

2. Красницька О. В. (2022). Постать справжнього командира-лідера. *Наукові записки Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя*. *Психолого-педагогічні науки*. № 2. С. 111–120.

3. Красницька, О. В. (2023). Постать сучасного викладача: справжність і фейковість. *Імідж сучасного педагога*, (3(210), 11–17. https://doi.org/10.33272/2522-9729-2023-3(210)-11-17.

4. Красницька О. В. (2020). Лідерство та риторика у професійній діяльності офіцера. *Актуальні питання гуманітарних наук : міжвузівський зб. наук. пр. молодих вчених Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка*. Дрогобич : вид. дім «Гельветика». Вип. 28. Т. 2. С. 181–187.

5. McChrystal, Stanley, Collins, Tantum, Silverman, David, Fussell, Chris (2015). Team of Teams: New Rules of Engagement for a Complex World. 304.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ МОТИВАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН МАТЕМАТИЧНОГО ЦИКЛУ

Чубенко Анастасія Михайлівна
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім.. Героїв Крут, старший викладач, кафедра фундаментальних дисциплін, apm17184@gmail.com

WAYS TO INCREASE STUDENTS' MOTIVATION WHEN TEACHING MATHEMATICAL CYCLE SUBJECTS

Chubenko Anastasiia
Military institute of telecommunications and informatics named after Heroes of Kruts, senior teacher, department of fundamental disciplines, apm17184@gmail.com

The paper presents the main problems of the educational process caused by insufficient motivation of students and ways to solve them. Also analyzed are the methods of using technological means of teaching subjects of the mathematical cycle of disciplines to increase motivation and cognitive activity.

Keywords: learning motivation, intensification of the learning process, interactive methods

Проблема мотивації здобувачів освіти сьогодні потребує окремого розгляду. В епоху цифровізації повсякденних процесів та розвитку технологій викладачам середньої та вищої ланки освіти все важче утримувати увагу здобувачів освіти та мотивувати їх до навчання. Викладачі математичного циклу дисциплін також мають такі завдання, як активізація пізнавальної діяльності, утримання уваги слухачів та подолання впливу демотивуючих факторів, таких як інформаційне перевантаження, невпевненість у власних силах, сумніви щодо подальшого застосування отриманих знань та навичок при набутті професійної компетентності тощо.

Дієвим інструментом в підвищенні вмотивованості здобувача освіти є модель ARCS Джона Келлера, презентована ще в 1970-х роках (рис. 1).

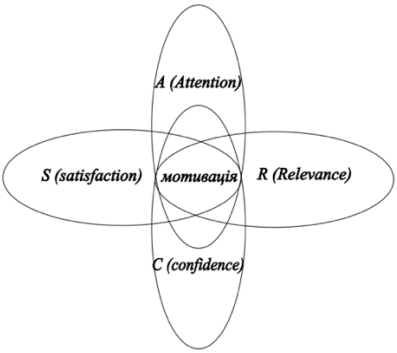


Рисунок 1. Мотиваційна модель Келлера

Перший компонент (Attention – увага) пов'язаний з активізацією уваги. Для викладача потрібно пам'ятати про необхідність зміни видів діяльності протягом заняття, намагатись уникати монотонності в презентації навчального матеріалу, урізноманітнювати методи навчання.

Другий компонент (Relevance – актуальність) досягається шляхом усвідомлення відповідності цілей та завдань вивчення окремої дисципліни до загальних освітніх потреб, в тому числі для набуття професійної компетентності. Викладач має наголошувати на прикладній спрямованості курсу та формуванні потрібних навичок, необхідних для становлення слухача – компетентного випускника закладу освіти.

Третій компонент (Confidence – впевненість) має на меті створення комфортного освітнього середовища як частини освітнього процесу. Здобувач повинен відчувати захищеність та підтримку викладача, здатність впливати на власні результати навчання через самоконтроль. Одним із шляхів провадження компоненту є прозорість процесу оцінювання та прогнозованість результату.

Четвертий компонент (Satisfaction – задоволення) дозволяє здобувачу отримувати позитивні емоції від процесу навчання. Для цього викладач може застосовувати систему заохочувальних балів, звичайне підбадьорювання, коротке feedback-опитування (що було зрозуміло?, над чим ще треба попрацювати?) після заняття з метою формування значущості здобувача освіти в

навчальному процесі. Також важливою є демонстрація доброзичливого ставлення викладача до аудиторії.

Приклад реалізації мотиваційної моделі Келлера при вивченні математичних дисциплін наведено в таблиці (табл. 1).

Таблиця 1. Методи підвищення мотивації

Компонент	Фактори демотивації	Шляхи подолання
Увага	Монотонність викладення матеріалу, втрата концентрації при написанні складних формул	Зміна темпу заняття, застосування інтерактивних методів; наведення історичної довідки з теми
Актуальність	Нерозуміння слухачем важливості матеріалу («де це застосувати?»)	Зв’язок з життєвим досвідом; наголос, що математика дає інструментарій для професійно-спрямованих дисциплін
Впевненість	Складність завдань	Наявність доступу студентів до шкали оцінювання; створення диференційованих завдань різних рівнів
Задоволення	Страх помилитись	Важлива спроба, а не результат; похвала викладача

Мотиваційна модель Келлера дає інструментарій викладачу задля підвищення мотивації здобувача.

Список використаних джерел

1. Просіна О. Варіативні моделі професійного розвитку керівників закладів позашкільної освіти в умовах відкритої освіти. Джерело педагогічних інновацій. Освітні інновації в позашкільній освіті: сучасний погляд, практика та перспективи впровадження. 2022. №1(137). С. 42-52.

ВИКОРИСТАННЯ AI-ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТУ

Шевченко Ілона Володимирівна
Національний аерокосмічний університет «ХАІ», к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення,
i.shevchenko@khai.edu

USING AI TOOLS FOR VISUAL CONTENT CREATION

Ilona Shevchenko
National Aerospace University «KhAI», PhD,
Associate Professor of the Department of Software Engineering
i.shevchenko@khai.edu

The paper examines modern AI tools for visual content creation in the educational process. Four functional categories are considered: image generators, AI design assistants, AI-enhanced image editing tools, and specialized educational platforms. The benefits of using such tools are analyzed – including reduced material preparation time and the development of digital competencies – while emphasizing the need for critical thinking and academic integrity when working with AI-generated content.

Keywords: artificial intelligence, visual content, digital transformation of education, prompt engineering, digital literacy.

Штучний інтелект (Artificial Intelligence, AI) сьогодні активно проникає в усі сфери людської діяльності. За даними дослідження McKinsey Global Institute за 2025 рік [1], понад 78% організацій використовують AI принаймні в одній бізнес-функції. Освіта не є винятком, навчальні заклади по всьому світу дедалі активніше впроваджують AI-інструменти в освітній процес: від автоматизації адміністративних завдань і персоналізації навчання до створення навчальних матеріалів та оцінювання знань здобувачів освіти.

Цифрова трансформація освіти, яка суттєво прискорилася після 2020 року, вимагає від викладачів і здобувачів освіти опанування нових технологічних інструментів. Особливої

актуальності набуває питання використання AI-інструментів для створення візуального навчального контенту – дидактичних матеріалів, ілюстрацій, інфографіки, презентацій. Згідно з теорією подвійного кодування Алана Пайвіо [2], поєднання текстової та візуальної інформації покращує запам'ятовування та розуміння навчального матеріалу, оскільки активує два незалежних когнітивних канали обробки інформації.

Водночас більшість педагогів не мають достатньої графічної підготовки для самостійного створення якісного візуального контенту. AI-генератори зображень, інфографіки та дизайн-асистенти здатні суттєво знизити цей бар'єр, надаючи можливість будь-якому вчителю або студенту створювати професійні матеріали без спеціалізованих навичок.

Мета дослідження – систематизувати та проаналізувати сучасні AI-інструменти для створення візуального контенту, оцінити їх педагогічний потенціал та сформулювати практичні рекомендації щодо їх застосування в освітньому процесі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– визначити категорії AI-інструментів для візуалізації навчального контенту;

– провести порівняльний аналіз провідних AI-інструментів для візуалізації навчального контенту;

– сформулювати практичні рекомендації щодо застосування AI-інструментів для візуалізації навчального контенту.

Сучасні AI-інструменти для роботи з візуальним контентом можна класифікувати за функціональним призначенням.

1. Генератори зображень за текстовими підказками (text-to-image), зокрема Midjourney, DALL-E 3, Stable Diffusion від Stability AI та Adobe Firefly від Adobe, дають змогу створювати унікальні ілюстрації, схеми й художні матеріали на основі текстового опису.

2. AI-асистенти для дизайну та інфографіки, серед яких Canva Magic Design, Microsoft Designer, Gamma.app і Beautiful.ai, орієнтовані на швидке створення структурованих візуальних документів, зокрема презентацій, інфографіки та постерів.

3. Інструменти для обробки й редагування зображень з елементами AI, такі як Luminar Neo, Topaz Labs, інтегруються в наявний творчий процес і розширюють можливості традиційного редагування.

4. Спеціалізовані освітні платформи, зокрема Explain Everything і Nearpod, із функціями AI-генерації слайдів, дають змогу швидко створювати інтерактивні навчальні матеріали, презентації та візуальні пояснення для занять.

Впровадження AI-інструментів у процес створення навчальних матеріалів відкриває принципово нові педагогічні можливості. По-перше, значно скорочується час на підготовку дидактичних матеріалів: за даними ISTE [3], використання AI-інструментів допомагає вчителям суттєво зменшити навантаження та прискорити створення навчальних матеріалів. По-друге, зростає доступність якісного оформлення – вчителі без художньої підготовки отримують змогу створювати візуально привабливі матеріали, що відповідають сучасним естетичним стандартам. По-третє, залучення здобувачів освіти до роботи з AI-інструментами формує компетентності, актуальні для цифрової економіки. Уміння грамотно формулювати промпти (prompt engineering), критично оцінювати результати генерації, адаптувати AI-контент до конкретного завдання – усе це є складовими сучасної цифрової грамотності.

Проте використання AI-генерованого контенту вимагає дотримання певних принципів. Критичне мислення та верифікація є обов'язковими складовими роботи з AI-матеріалами: модель може генерувати візуально привабливий, проте фактично некоректний контент. Також необхідно враховувати питання авторського права, академічної доброчесності та прозорості щодо використання AI у навчальній роботі.

Порівняльний аналіз провідних AI-платформ за критеріями доступності, функціональності та педагогічної придатності демонструє таку картину. Canva Magic Design вирізняється найнижчим порогом входження та інтуїтивним інтерфейсом. Завдяки наявності безкоштовного освітнього тарифу (Canva for Education), цей інструмент широко інтегрований у шкільну

практику. DALL-E 3 (у складі ChatGPT) забезпечує найвищу якість виконання складних текстових підказок (промптів), що робить його ідеальним для створення унікальних концептуальних ілюстрацій. Gamma.app спеціалізується на швидкому створенні презентацій та звітів. Здатність платформи генерувати структурований контент із мінімальним залученням користувача робить її оптимальним вибором для підготовки лекційних матеріалів. Stable Diffusion (як локально встановлене рішення) є найбільш гнучким інструментом з технічного погляду. Однак він вимагає специфічних навичок налаштування, тому орієнтований переважно на просунутих користувачів. Microsoft Designer, інтегрований у середовище Office 365, є природним вибором для закладів освіти, які вже використовують хмарну екосистему Microsoft.

Висновки. Проведений аналіз демонструє, що AI-інструменти для створення візуального контенту мають значний педагогічний потенціал і здатні суттєво підвищити ефективність освітнього процесу. Разом із тим їх успішне впровадження потребує системного підходу: методичного супроводу, розвитку цифрових компетентностей викладачів та формування у здобувачів освіти навичок критичного мислення щодо AI-генерованого контенту.

Список використаних джерел

1. Singla, A., Sukharevsky, A., Yee, L., Chui, M., & Hall, B. (2025). The state of AI: How organizations are rewiring to capture value. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-how-organizations-are-rewiring-to-capture-value

2. Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. Educational Psychology Review, 3(3), 149–210. https://doi.org/10.1007/BF01320076

3. ISTE & GM. (2023). Bringing AI to school: Tips for school leaders. International Society for Technology in Education. https://cms-live-media.iste.org/Bringing_AI_to_School-2023_07.pdf

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ

Шуляк Андрій Сергійович
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, доктор філософії, доцент кафедри інформатики і інформаційно-комунікаційних технологій,
shulakmaster@gmail.com

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS: ETHICAL ASPECTS OF ITS USE

Shuliak Andrii Serhiiovych
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Informatics and Information and Communication Technologies,
shulakmaster@gmail.com

This article highlights the ethical aspects of applying artificial intelligence in the educational process. The role of AI in the development of self-learning, critical thinking, and creativity among higher education students is defined. Emphasis is placed on the need for responsible use of technology, preserving the role of academic and teaching staff in shaping ethical norms and emotional intelligence, as well as ensuring equal access to innovations for all participants in the educational process.

Keywords: artificial intelligence, ethics, education, critical thinking, self-directed learning, emotional intelligence.

На сьогодні відчуваємо стрімкі зміни під впливом цифровізації та впровадження новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту. У контексті освіти штучний інтелект відкриває нові можливості для персоналізації навчання, розвитку самостійності здобувачів вищої освіти та розширення їхніх компетентностей. Однак разом із перевагами виникають і нові етичні виклики, що стосуються приватності даних, академічної доброчесності, прозорості алгоритмів, а також забезпечення рівного доступу до інновацій для всіх учасників освітнього

процесу.

І.В. Сімонова, А.В. Пачевська, А.В. Білошицька, В.М. Істошин вважають, що «ШІ може сприяти розвитку навичок самонавчання, критичного мислення та творчого підходу. Зокрема ChatGPT та інші генеративні моделі здатні надавати студентам допомогу в пошуку інформації, формулюванні ідей або створенні плану для проєкту. Однак тут важливо враховувати, що роль викладача в навчальному процесі залишається незамінною, оскільки лише людина може забезпечити критичну оцінку, етичні поради та розвиток емоційного інтелекту студентів» [2, с. 467].

Ю.С. Чичкан зазначає, що «необхідно застосовувати ШІ відповідально та етично, щоб забезпечити його використання на благо всіх студентів» [3, с. 238].

Є. Качкар наголошує на тому, що «інтеграція штучного інтелекту в освітній процес несе значні переваги, але також викликає низку етичних питань. Основні проблеми включають забезпечення академічної доброчесності, захист персональних даних та етичне використання технологій для забезпечення рівності можливостей» [1, с. 29].

Так, цифрові асистенти, генеративні моделі й адаптивні платформи сприяють розвитку навичок самонавчання. Це створює сприятливі умови для формування відповідального ставлення до навчання та самоорганізації. Значну роль ШІ відіграє у розвитку критичного мислення: сучасні інструменти дозволяють здобувачам вищої освіти аналізувати великі обсяги інформації, порівнювати різні джерела, формувати висновки.

Переваги індивідуалізації навчання за допомогою ШІ особливо актуальні для інклюзивної освіти: здобувачі вищої освіти з особливими освітніми потребами отримують можливість навчатися у зручному для себе форматі, що сприяє рівноправності та соціальній адаптації.

Зі зростанням популярності ШІ в освіті виникають питання етики його застосування. Однією з ключових проблем є захист приватності даних здобувачів вищої освіти. Важливим аспектом є прозорість алгоритмів: учасники освітнього процесу повинні розуміти, як і на яких підставах приймаються рішення

щодо оцінювання, рекомендацій чи доступу до навчальних ресурсів.

Особливої уваги заслуговує питання упередженості алгоритмів: навіть найдосконаліші системи можуть відтворювати або підсилювати існуючі соціальні стереотипи, що негативно впливає на рівність можливостей та суперечить принципам чесності та справедливості в освіті. Без належного регулювання та етичних стандартів використання ШІ може призвести до знецінення особистого внеску здобувача вищої освіти та підриву довіри до результатів навчання.

У світі, де технології змінюють його, ключова роль належить науково-педагогічному працівнику, який не лише дає знання, а й формує етичні орієнтири й розвиває емоційний інтелект здобувачів вищої освіти. Саме педагог забезпечує критичне осмислення інформації, вчить аналізувати результати роботи ШІ, відокремлювати достовірні дані від неправдивих, а також сприяє формуванню моральної відповідальності за власний вибір.

Науково-педагогічний працівник виступає посередником між інноваціями та освітянською спільнотою, визначаючи межі допустимого використання технологій, наголошуючи на важливості дотримання академічної доброчесності, поваги до інтелектуальної власності та етиці взаємодії. Особливу увагу слід приділяти розвитку емоційного інтелекту здобувачів вищої освіти, а саме здатності до співпереживання, ефективної комунікації, розуміння власних і чужих емоцій, що є запорукою гармонійного особистісного зростання у цифровому середовищі.

Проблема цифрової нерівності залишається одним із найбільших викликів у впровадженні ШІ в освіті. Для подолання цифрової нерівності необхідно впроваджувати комплексні програми цифрової грамотності, розвивати інфраструктуру, забезпечувати доступність навчальних ресурсів незалежно від місця проживання чи соціального статусу. Важливо також залучати до розробки та впровадження ШІ представників різних спільнот, щоб враховувати їхні потреби й особливості. Лише за таких умов інновації стануть інструментом розвитку для всіх

учасників освітнього процесу, а не привілеєм обраних.

Таким чином, штучний інтелект має значний потенціал для трансформації освітнього процесу, сприяючи розвитку самонавчання, критичного мислення та творчості здобувачів вищої освіти. Важливою умовою ефективного використання ШІ є відповідальна діяльність науково-педагогічного працівника, який формує етичні норми, забезпечує розвиток емоційного інтелекту та підтримує академічну доброчесність. Для гармонійного впровадження ШІ в освітній процес доцільно запроваджувати чіткі етичні стандарти використання ШІ; забезпечувати захист персональних даних; розвивати цифрову грамотність усіх учасників освітнього процесу; запобігати цифровій нерівності шляхом розширення доступу до технологій; підтримувати постійний діалог між освітянами, науковцями, здобувачами освіти та розробниками ШІ. Лише за умов дотримання етичних принципів, відповідальної взаємодії та рівного доступу до інновацій штучний інтелект стане потужним рушієм якісних змін в освіті.

Список використаних джерел

1. Качкар Є. (2024). Штучний інтелект в освітніх практиках: навчально-методичний посібник. Черкаси: КНЗ «ЧОІПОПП». 52с.

2. Сімонова І.В., Пачевська А.В., Білошицька А.В., Істошин В.М. (2025) Використання штучного інтелекту в освіті: потенціал, виклик чи можливість. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. Т. 29, № 3. С. 462–468.

3. Чичкан Ю.С. (2024). Штучний інтелект як інструмент для навчання дорослих. *Світові освітні тренди: навчання впродовж життя в інформаційному суспільстві : збірник мат. Міжнародної науково-практичної конф., присвяченої 190-річчю Університету та 50-річчю Інституту*. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова. С. 236–239.

ЗАРУБІЖНІ ПРАКТИКИ ІНТЕГРАЦІЇ ВЕБДОСТУПНОСТІ У ЦИФРОВЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Юрійчук Анастасія Олександрівна
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, a.yuriychuk@chnu.edu.ua

NTERNATIONAL PRACTICES OF INTEGRATING WEB ACCESSIBILITY INTO THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Yuriichuk Anastasiia Oleksandrivna
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Applied Mathematics and Information Technologies, a.yuriychuk@chnu.edu.ua

The paper analyses international practices of integrating web accessibility into the digital educational environment of higher education institutions. The study examines current approaches to ensuring accessibility of web-based educational resources, learning management systems, digital learning content, and online communication tools. Particular attention is paid to faculty training, institutional support practices, and current Ukrainian initiatives in the field of web accessibility and inclusive education.

Keywords: web accessibility, digital educational environment, higher education institutions, inclusive education, universal design for learning.

Цифровізація вищої освіти та поширення дистанційного і змішаного навчання актуалізували проблему забезпечення рівного доступу до цифрового освітнього середовища закладів вищої освіти. У сучасному розумінні вебдоступність у ЗВО охоплює не лише університетські вебсайти, а й системи управління навчанням, електронні навчальні курси, веборієнтовані цифрові освітні ресурси, мультимедійний контент та онлайн-комунікацію. Базовим міжнародним стандартом у сфері

вебдоступності є Настанови з доступності вебвмісту WCAG, розроблені World Wide Web Consortium [1].

У сучасній міжнародній практиці підходи до інтеграції вебдоступності у цифрове освітнє середовище поступово трансформуються від локальної адаптації окремих вебресурсів до системного впровадження принципів доступності в усі компоненти цифрової інфраструктури університетів. Важливим чинником розвитку вебдоступності у зарубіжних ЗВО стало посилення міжнародних вимог щодо доступності цифрових сервісів та вебресурсів [2; 3].

У сучасних дослідженнях серед основних бар'єрів для викладачів у процесі створення доступного цифрового освітнього контенту виокремлюють недостатню обізнаність щодо стандартів вебдоступності, обмежений час та брак методичної підтримки [4]. У зв'язку з цим у багатьох зарубіжних університетах функціонують спеціалізовані центри підтримки вебдоступності та служби інклюзивного навчання. Їхня діяльність охоплює проведення консультацій, аудит вебресурсів, адаптацію електронних навчальних матеріалів та організацію програм підвищення кваліфікації для викладачів.

Важливим напрямом інтеграції вебдоступності у цифрове освітнє середовище є впровадження концепції універсального дизайну у навчанні. Такий підхід передбачає створення освітнього середовища, доступного для максимально широкого кола здобувачів освіти без необхідності подальшої адаптації [5]. Практика зарубіжних університетів передбачає використання альтернативних форматів подання інформації, субтитрування відеоматеріалів та сумісності вебресурсів із допоміжними технологіями.

Окрема увага в зарубіжних ЗВО приділяється підготовці викладачів до створення доступних веборієнтованих освітніх ресурсів. Університети впроваджують внутрішні рекомендації щодо оформлення електронних документів, використання доступних шаблонів презентацій, перевірки контенту автоматизованими засобами оцінювання вебдоступності та забезпечення доступності курсів у системах управління

навчанням.

В Україні питання вебдоступності та цифрової інклюзії також набувають більшої актуальності. У межах реалізації Національної стратегії зі створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року цифрова безбар'єрність визначається одним із ключових напрямів державної політики [6]. Міністерство освіти і науки України включило тематику вебдоступності та універсального дизайну у навчанні до переліку напрямів підвищення кваліфікації педагогічних і науково-педагогічних працівників [7].

Важливу роль у розвитку вебдоступності відіграють відкриті освітні ініціативи та ресурси. Зокрема, на платформі «Дія.Освіта» представлено освітній серіал «Вебдоступність», спрямований на формування базових компетентностей у сфері доступності вебресурсів [8]. Окремі українські заклади вищої освіти також розвивають практики інтеграції вебдоступності у цифрове освітнє середовище. Зокрема, Центр навчальних та інноваційних технологій Українського католицького університету поширює методичні матеріали щодо створення доступних цифрових ресурсів, використання принципів універсального дизайну у навчанні та формування інклюзивного цифрового освітнього середовища [9].

Таким чином, міжнародний досвід свідчить, що інтеграція вебдоступності у цифрове освітнє середовище закладів вищої освіти є комплексним процесом, який поєднує технологічні рішення, інституційну підтримку та системну підготовку викладачів. В Україні також спостерігається поступове впровадження практик вебдоступності у сфері вищої освіти, що створює передумови для подальшого розвитку інклюзивного цифрового освітнього середовища.

Список використаних джерел

1. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. *World Wide Web Consortium.* URL: https://www.w3.org/TR/WCAG22/

2. Accessibility of Web Information and Services of State and Local Government Entities. Final Rule. *U.S. Department of Justice.*

URL: https://www.ada.gov/resources/2024-03-08-web-accessibility-rule/

3. Directive (EU) 2016/2102 on Accessibility of Websites and Mobile Applications of Public Sector Bodies. *European Commission.* URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/web-accessibility.

4. Bong W. K., Chen W. Increasing faculty's competence in digital accessibility for inclusive education. *International Journal of Inclusive Education*. 2024. Vol. 28, no. 2. P. 197–213. URL: https://doi.org/10.1080/13603116.2021.1937344.

5. Universal Design for Learning Guidelines version 3.0. *CAST*. URL: https://udlguidelines.cast.org/

6. Національна стратегія зі створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-p#Text.

7. Оголошення про проведення конкурсного відбору виконавців державного замовлення підвищення кваліфікації фахівців окремих галузей економіки та працівників бюджетної сфери. *Міністерство освіти і науки України*. URL: https://mon.gov.ua/news/oholoshennia-pro-provedennia-konkursnoho-vidboru-vykonavtsiv-derzhavnoho-zamovlennia-pidvyshchennia-kvalifikatsii-fakhivtsiv-okremykh-haluzei-ekonomiky-ta-pratsivnykiv-biudzhetnoi-sfery2.

8. Освітній серіал «Вебдоступність». *Дія.Освіта.* URL: https://osvita.diia.gov.ua/courses/web-accessibility.

9. Цифрова інклюзія та вебдоступність. *Центр навчальних та інноваційних технологій*. URL: https://ceit.ucu.edu.ua/ld/tsyfrova-bezbar-yernist-ta-vebdostupnist/

GAME-BASED LEARNING AS A METHOD OF DEVELOPING PROFESSIONAL COMPETENCIES IN HIGHER EDUCATION

Koval Yevhen
National university of life and environmental sciences of Ukraine, student, jeka2017koval@gmail.com
Renska Indira
National university of life and environmental sciences of Ukraine, Senior lecturer, Department of English Philology
renska@nubip.edu.ua

The article explores Game-Based Learning (GBL) as a tool for developing professional competencies in higher education, specifically within software engineering. Based on Self-Determination Theory, it analyzes how gamification satisfies needs for autonomy and competence. The study highlights GBL's role in reducing cognitive friction and creating safe failure spaces for practicing complex IT skills. Practical cases demonstrate how GBL induces consistent student behavior and engagement.

Keywords: gamification, higher education, self-determination theory, software engineering, professional competencies, game-based learning, cognitive friction.

The modern landscape of higher education is undergoing a seismic shift driven by digital transformation. Traditional «ex- cathedra» teaching methods are increasingly proving inadequate for the training of high-level specialists, particularly in rapidly evolving fields like Information Technology. The core challenge lies in the gap between theoretical knowledge and the ability to apply it in high-pressure, real-world professional environments. Game-Based Learning (GBL) and gamification represent a strategic response to this challenge. By integrating complex game mechanics, narrative structures, and feedback loops into the curriculum, universities can create a «flow state» that maximizes cognitive engagement and professional competence development.

The pedagogical effectiveness of GBL is deeply rooted in the

Self-Determination Theory (SDT). According to Ryan and Deci, the success of any learning environment depends on the satisfaction of three innate psychological needs: autonomy, competence, and relatedness [1, pp. 1-3]. In a gamified academic setting, autonomy is achieved through branched learning paths; competence is reinforced via progressive difficulty levels (scaffolding); and relatedness is fostered through collaborative «guild» or team-based projects.

Recent studies by Huang and Soman highlight that gamification helps to overcome feelings of being overwhelmed or frustrated when dealing with complex tasks, replacing them with «blissful productivity» and increased engagement [2, p. 6]. By visualizing abstract logic through game-like interfaces, students can manage higher levels of information density without experiencing burnout. This approach aligns with the necessity of supporting natural processes of self-motivation and healthy psychological development [1, p. 1].

In the context of Software Engineering (SE) and Information Systems, GBL serves as a bridge between abstract syntax and systemic architectural thinking. This is particularly relevant for students specializing in software development, where the complexity of modern frameworks often overwhelms beginners. Effective implementation requires a deep understanding of practitioner-oriented gamification models to ensure the content remains engaging yet educational [2, pp. 12-14].

Using game engines such as Unity or Unreal Engine transforms the coding process. When a student utilizes C# or C++ to implement a character's AI or a resource management system, the feedback is instantaneous and visual. Unlike traditional console output, the game world provides a «physical» manifestation of logical errors. This mirrors the professional CI/CD (Continuous Integration/Continuous Deployment) cycles, where developers must constantly iterate based on system behavior, a process that significantly enhances the «competence» aspect of Self-Determination Theory [1, p. 7].

Database Design and Optimization Challenges:

The design of complex database schemas (e.g., for a botanical garden system or a monstrous collection game) can be gamified by setting performance benchmarks. Students compete to create the most

normalized and efficient SQL queries to minimize «latency» within a simulated game market. This turns a dry academic exercise into a high-stakes engineering challenge, where the reward is a high-performing system. Such challenges facilitate intrinsic motivation by providing optimal challenges and immediate feedback [1, p. 4].

Research by Huang and Soman suggests that breaking down programs into milestones and stages through role-based simulations reduces the cognitive friction of learning complex methodologies [2, p. 15]. Unexpected «random events» (e.g., a critical bug discovery or a change in client requirements) can be introduced as game mechanics, forcing students to adapt their strategies in real-time.

In IT security education, GBL is already a standard. CTF competitions act as gamified laboratories where students apply «ethical hacking» techniques to penetrate simulated networks. This provides a safe yet realistic environment to practice professional skills that would be illegal or dangerous to test on live production systems, satisfying the need for autonomous exploration in a controlled setting [1, p. 1].

The primary advantage of GBL is the creation of a Safe Failure Space. In traditional education, failure is often penalized by grades, leading to risk-aversion. In GBL, failure is a data point - a necessary step in the «try-fail-debug-succeed» loop that defines the life of a professional engineer. This approach allows students to remain proactive and engaged rather than becoming passive due to the fear of academic penalty [1, p. 1].

However, implementation is not without challenges. There is a risk of «chocolate-covered broccoli» - educational content where game mechanics are poorly integrated with learning objectives. As research suggests, instructors must focus on gamifying the process and behaviors (such as consistent coding or debugging) rather than just outcomes like grades, as it is the behavior that indirectly leads to the acquisition of professional skills [2, p. 16]. Poorly designed systems that prioritize superficial rewards over meaningful engagement can forestall the natural processes of self-motivation and healthy psychological development [1, p. 1].

Ultimately, gamification should be viewed as an independent

tool for fostering the engagement and motivation necessary for students to perform the intellectual work required in a modern academic environment [2, p. 16]. Integrating Game-Based Learning into the university curriculum is a transformative step that aligns academic training with the realities of the 21st-century labor market. By leveraging the principles of SDT and the technical power of modern development tools, higher education can produce graduates who are battle-tested professionals ready for the complexities of the global tech industry.

References

1. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American Psychologist, 55(1), 1–11. https://uvi.edu/files/documents/College_of_Liberal_Arts_and_Social_Sciences/social_sciences/OSDCD/National_Self_Determination_Richard_Ryan_and_Edward_Deci.pdf (date of access: 16.04.2026).

2. Huang W. H. Y., Soman D. A Practitioner's Guide To Gamification Of Education. Research Report Series, Rotman School of Management, University of Toronto. 2013. URL: https://www.rotman.utoronto.ca/-/media/Files/Programs-and Areas/behavioural-economics/Reports/Gamification-of-Education.pdf (date of access: 16.04.2026).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE EDUCATION WITHIN MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES: FROM THEORY TO PRACTICE

Shandra Nataliya Andriivna
Ivan Franko National University of Lviv, Associate Professor, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Foreign Languages for Sciences,
nataliya.shandra@lnu.edu.ua

This paper discusses artificial intelligence as a component of modern information technologies in education and science. It explores its potential in supporting English language education by bridging theory and practice. The research is based on a combination of analysis and practical application. The results showed that artificial intelligence in supporting English language education is beneficial in terms of learner engagement and feedback, though it needs proper mediation.

Keywords: artificial intelligence, information technologies, English language education, digital learning, higher education.

Introduction

Information technologies have significantly impacted modern educational environments, introducing new forms of interaction and knowledge construction. Artificial intelligence is considered one of the most important innovations in this regard, as it has the potential for supporting adaptive and data-driven learning [1]. These technologies, in particular, have proven valuable in supporting language education, as it is necessary for learners to be constantly engaged and motivated.

Research Background

Research on technology-based language learning has proven that digital tools can significantly impact learner engagement and autonomy [2; 3; 4]. Artificial intelligence is considered important in this regard, as it provides flexible and personalized learning environments [2]. Additionally, computer-assisted language learning systems can significantly impact structured learning [3]. Moreover, motivation is considered a key factor in this regard [4].

Methodology

This study is based on a mixed methodology, combining

elements of practical application and descriptive analysis. The participants included 25 undergraduate students (B2 level) in an English Language course. The study was conducted over four weeks and included three stages: pre-assessment, intervention, and post-assessment.

During the intervention, the students took part in chatbot communication, automated writing feedback, and adaptive vocabulary learning. The study used observations, student reflections, and performance comparison as methods of data collection. Thematic analysis was used as a form of data analysis.

Results

The research findings showed that there were significant improvements in student engagement and English accuracy. The research showed that the students took part actively in AI-assisted activities and had higher levels of motivation. The writing tasks showed significant improvement in grammatical accuracy and lexical variety.

Table 1. Student Performance Before and After AI Integration

Indicator	Before (%)	After (%)
Engagement	65	82
Writing accuracy	68	85
Vocabulary retention	62	80

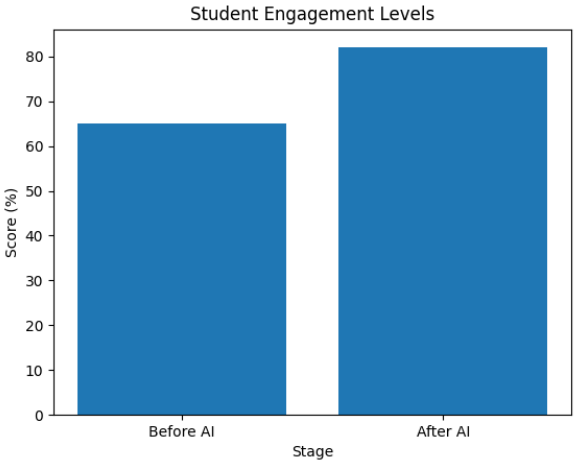


Figure 1. Student Engagement Levels

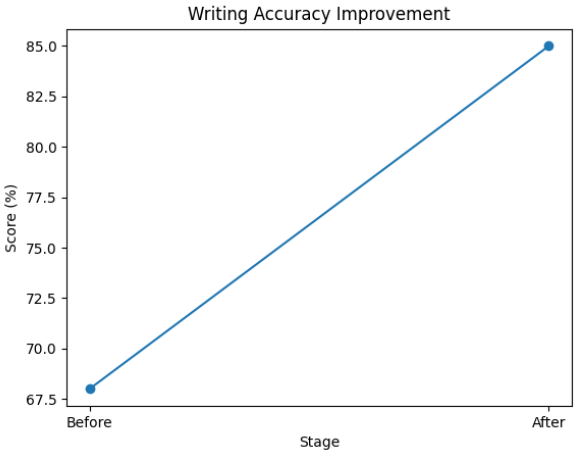


Figure 2. Writing Accuracy Improvement

Discussion

The research findings showed that AI technology is instrumental in English language learning by bridging the gap between theoretical and practical application. The success of the integration of AI technologies into English language acquisition relies on pedagogical considerations and the role of teachers.

It is important to note that AI technologies should supplement traditional methods instead of replacing them.

Conclusion

Artificial intelligence is a key component of modern information technologies in education. Its integration into English language learning enhances engagement and supports personalised instruction. Future research should explore long-term effects and large-scale implementation.

References

1. Luckin R. (2018). Machine Learning and Human Intelligence. UCL IOE Press.

2. Kukulska-Hulme A. (2020). Mobile-Assisted Language Learning. Cambridge University Press.

3. Beatty K. (2013). Teaching and Researching Computer-Assisted Language Learning. Routledge.

4. Dörnyei Z. (2005). The Psychology of the Language Learner. Routledge.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR DIAGNOSING AND COMPENSATING FOR LEARNING LOSS

Hao Zhou
Postgraduate student, Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Sumy, Ukraine,
hao.zhou@fizmatsspu.sumy.ua

Our study examines the potential of artificial intelligence to identify, compensate for, and prevent learning loss. It argues that AI can strengthen targeted pedagogical support by analyzing learning data, adapting tasks, and monitoring progress. The paper shows that the effectiveness of such solutions depends on pedagogical supervision, digital accessibility, and ethical implementation.

Keywords: artificial intelligence, learning loss, learning recovery, personalized learning, adaptive support, educational inequality, IT in education.

In recent years, learning loss has become one of the most visible problems in education. It cannot be interpreted simply as a temporary decline in academic performance after interrupted schooling. Rather, it should be understood as a complex phenomenon shaped by the interaction of academic gaps, social vulnerability, unequal access to resources, unstable learning environments, and the differing capacities of educational institutions to sustain continuous learning trajectories (Betthäuser et al., 2023; Patrinos et al., 2022). For Ukraine, this issue is especially acute because the consequences of the pandemic have been compounded by war, displacement, digital inequality, and disrupted educational pathways.

Under such conditions, traditional compensatory approaches often prove insufficient. Uniform strategies for “catching up” rarely address the actual scale and structure of individual learning difficulties. This is why growing attention is being paid to information technologies capable of supporting more precise diagnosis, more flexible adaptation of learning content, and ongoing monitoring of student progress. In this regard, artificial intelligence occupies a special place. International organizations increasingly treat AI not

merely as a technological innovation, but as a tool that can strengthen personalization, support teachers in working with heterogeneous groups, and make educational decisions more responsive to each learner's real needs (Miao & Holmes, 2023; Varsik & Gorleku, 2024).

The purpose of our study is to substantiate the potential of artificial intelligence as a tool for diagnosing and mitigating learning loss, and to identify the conditions for its pedagogically appropriate use in education. In accordance with this purpose, attention is focused on the role of AI in detecting learning gaps, its potential for personalized recovery, its value for teacher support, and the risks associated with its implementation.

One of the most promising functions of artificial intelligence is the early identification of learning loss. Unlike traditional approaches, which often detect underachievement only through final assessments, AI enables working with ongoing educational data. This includes analyzing recurrent errors, task completion rates, topic-specific difficulties, and changes in learning dynamics. Such analysis helps reveal not only the fact of underachievement, but also its internal structure. As a result, teachers gain a stronger basis for instructional decision-making, while learners are more likely to receive timely support that matches their actual needs (Patrinos et al., 2022; World Bank, 2023).

No less important is the use of AI to personalize compensation for learning loss. Adaptive learning systems, intelligent tutors, recommendation mechanisms, and generative tools for differentiated task design can select learning materials according to a learner’s current level of preparation, pace of progress, and pattern of difficulties. This creates the possibility of moving away from instruction aimed at an abstract “average learner” toward flexible recovery pathways. In this sense, AI can strengthen the targeting of support in heterogeneous classrooms, where learners experience different scales of gaps and require different routes of compensation. Such an approach is consistent with contemporary recovery logic, which favors differentiated support over uniform remediation (Nickow et al., 2020; World Bank, 2023).

AI can also support not only the learner, but the teacher. The issue here is not teacher replacement, but the expansion of professional

capacity. AI can help teachers analyze educational data more efficiently, identify at-risk groups, select differentiated tasks, track progress, and adjust instruction. This is particularly important under conditions of high workload and class heterogeneity. When used thoughtfully, such tools can reduce routine burdens and free time for direct pedagogical interaction, explaining difficult material, providing motivational support, and communicating with families (Miao & Holmes, 2023; Molina et al., 2024).

At the same time, the potential of artificial intelligence should not be idealized. Its use to address learning loss is associated with several risks. These include dependence on data quality, algorithmic bias, privacy concerns, and the possibility of reinforcing digital inequality. If AI tools are available only to certain institutions or rely on incomplete or distorted data, they may reproduce rather than reduce educational disparities. For this reason, the use of AI in education requires pedagogical supervision, transparent criteria for interpreting results, ethical regulation, and special teacher preparation for critical use of such tools (Miao & Holmes, 2023; Varsik & Gorleku, 2024).

In Ukrainian education, several practical directions for AI use are particularly relevant. First, AI can strengthen the diagnosis of individual and group learning gaps. Second, it can support the creation of adaptive micro-modules for short recovery pathways. Third, it can assist blended and online learning in conditions of unstable educational provision. Fourth, it can enhance monitoring of learning progress, enabling timely adjustments to instruction. In all these cases, the decisive factor is not the mere presence of technology, but its subordination to educational goals (World Bank, 2023; Molina et al., 2024).

The tentative results of our study may be formulated as follows. Artificial intelligence has the potential to improve the early identification of learning loss, make compensatory support more targeted, and support teachers in pedagogical decision-making. At the same time, its effectiveness depends on combining technological capacities with pedagogical appropriateness, digital accessibility, and ethical safeguards. Therefore, AI should be treated not as an autonomous means of “eliminating” learning loss, but as a tool to support more precise, flexible, and equitable strategies for learning

recovery.

Thus, the use of artificial intelligence for addressing learning loss is a promising topic for the section on IT in education and science because it combines advanced information technologies with urgent educational needs. Its value lies in the possibility of rethinking digital tools not merely as auxiliary resources, but as instruments of more precise, adaptive, and socially responsive educational recovery.

References

1. Betthäuser, B. A., Bach-Mortensen, A. M., & Engzell, P. (2023). A systematic review and meta-analysis of the evidence on learning during the COVID-19 pandemic. *Nature Human Behaviour, 7*(3), 375–385. https://doi.org/10.1038/s41562-022-01506-4

2. Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO.

3. Molina, E., Cobo, C., Pineda, J., Rovner, H. (2024). *AI revolution in education: What you need to know*. World Bank. https://doi.org/10.1596/41806

4. Nickow, A., Oreopoulos, P., & Quan, V. (2020). *The impressive effects of tutoring on PreK-12 learning: A systematic review and meta-analysis of the experimental evidence* (NBER Working Paper No. 27476). https://doi.org/10.3386/w27476

5. Patrinos, H. A., Vegas, E., & Carter-Rau, R. (2022). *An analysis of COVID-19 student learning loss* (Policy Research Working Paper No. 10033). World Bank. https://doi.org/10.1596/1813-9450-10033

6. Varsik, S., & Gorleku, O. A. (2024). *The potential impact of artificial intelligence on equity and inclusion in education*. OECD.

7. World Bank. (2023). *Learning recovery to acceleration: A global update on country efforts to improve learning and reduce inequalities*. World Bank.

Секція 8. Цифрові технології для сталого розвитку промисловості та оцінки життєвого циклу

Section 8. Digital Technologies for Sustainable Industrial Development and Life Cycle Assessment

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ У КОМЕРЦІЙНОМУ ВЕБСАЙТІ КОСМЕТИЧНОЇ ТЕМАТИКИ (НА ПРИКЛАДІ ВЕБСАЙТУ БРЕНДУ «LUMÉ»)

Антончик Маргарита Миколаївна
Здобувач освіти 3 курсу спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
Луцький педагогічний фаховий коледж КЗВО «Луцький педагогічний інститут» Волинської обласної ради
mantonchyk@lpc.ukr.education
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький педагогічний фаховий коледж КЗВО «Луцький педагогічний інститут» Волинської обласної ради, викладач інформатики

THE ROLE OF THE INFORMATION COMPONENT IN A COMMERCIAL COSMETICS WEBSITE (USING THE EXAMPLE OF THE BRAND WEBSITE "LUMÉ")

Antonchyk Margaryta
3rd year student of specialty 122 "Computer Science"
Lutsk Pedagogical Professional College KZVO "Lutsk Pedagogical Institute" of the Volyn Regional Council
mantonchyk@lpc.ukr.education
Nedilko Olga
teacher of computer science, Lutsk Pedagogical Professional College KZVO "Lutsk Pedagogical Institute" of the Volyn Regional Council

This study explores the role of informational content in cosmetics e-commerce through the developed "Lumé" website. It highlights how integrating an interactive quiz, a thematic blog, and detailed catalogs enhances user retention and brand trust. Built with HTML5, CSS3, and JavaScript, the platform shows that combining educational and commercial elements improves UX, transforming a storefront into a digital consultant.

Keywords: e-commerce, cosmetics website, web development, UI/UX design, informational content, user retention, JavaScript.

Сучасний етап розвитку глобальної мережі характеризується домінуванням візуального контенту та персоналізованого користувацького досвіду. В індустрії краси (beauty-індустрії) вебресурс перестав бути лише інформаційним майданчиком, перетворившись на повноцінний інструмент формування іміджу бренду та головний канал взаємодії зі споживачем. В умовах високої конкуренції на ринку косметичних засобів користувачі потребують не просто вітрини товарів, а експертного середовища, яке допомагає вирішити їхні проблеми. Тому інтеграція потужної інформаційної складової у комерційний проєкт стає критичною умовою для утримання клієнта та успішного позиціонування бренду.

Мета дослідження полягає у розробці та програмній реалізації функціонального промо-сайту косметичного бренду «Lumé» з акцентом на інформаційну та інтерактивну складову, що забезпечує високу якість візуалізації продукції та інтуїтивно зрозумілу навігацію для користувача.

Головний акцент у проєктуванні сучасних косметичних сайтів робиться на високоякісний візуальний контент, чистоту дизайну (мінімалізм) та створення емоційного зв'язку з цільовою аудиторією [1]. У межах дослідження було розроблено вебсайт для косметичного бренду «Lumé», цільовою аудиторією якого є переважно жінки віком від 18 до 45 років, які цінують естетику мінімалізму, екологічність складників та зручність цифрового сервісу.

Для того, щоб забезпечити безперешкодний шлях споживача від ознайомлення з філософією бренду до вибору конкретного доглядового засобу, архітектуру вебсистеми було збагачено специфічними інформаційними блоками:

1. інтерактивний квіз (Makeup-Match). Це унікальний функціонал сайту, який у форматі покрокового опитування допомагає користувачеві підібрати ідеальний догляд або макіяж. Алгоритм формує персоналізовані рекомендації, результати яких зберігаються в особистому кабінеті користувача. Цей інструмент не лише виконує роль віртуального консультанта, надаючи інформаційну цінність, але й гейміфікує процес вибору;

2. тематичний блог. На сайті реалізовано повноцінний інформаційний розділ зі статтями про догляд за собою, трендами макіяжу та новинами компанії. Блог оформлений у стилі глянцевого журналу, що підтримує візуальну естетику бренду «Lumé» та формує експертний імідж утримуючи увагу відвідувачів;

3. деталізований каталог товарів. Розроблено інформативні картки товарів, які містять вичерпні дані про продукти. Оскільки тривале завантаження сторінок та складний пошук підвищують показник відмов, було реалізовано зручну панель фільтрації за категоріями та ціновим діапазоном, що прискорює пошук потрібної інформації.

Важливим аспектом є дотримання правил веб-юзабіліті: інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим, щоб не змушувати користувача зайвий раз думати над навігацією [2]. А для забезпечення швидкого завантаження та миттєвого відгуку системи (адже затримка завантаження сторінки до 3 секунд призводить до стрімкого зростання відсотка користувачів, які залишають сайт, до 32%), було обрано оптимальний стек вебтехнологій.

— Візуальна архітектура реалізована за допомогою семантичної розмітки HTML5 та каскадних таблиць стилів CSS3. Використання модулів Flexbox та CSS Grid дозволило створити гнучку сітку товарів, яка автоматично оптимізує простір та ідеально масштабується під екрани мобільних пристроїв.

— Базовий функціонал та інтерактивність (зокрема, логіка квізу Makeup-Match) реалізовані за допомогою чистого JavaScript (Vanilla JS), без залучення надлишкових важких фреймворків. Це гарантує високу продуктивність та швидкість рендерингу сторінок.

— Для візуального оформлення панелі фільтрації каталогу застосовано сучасний дизайн-патерн «скляного морфізму» (Glassmorphism) за допомогою властивості backdrop-filter: blur, що додало інтерфейсу преміальності. Тепла колірна палітра (світлий бежево-сірий фон, кремовий білий та акцентний глибокий бордовий колір) формує атмосферу елегантності та

довіри.

— Застосовано також сучасний патерн «скляного морфізму» (Glassmorphism), можливості якого детально описуються у посібниках з вичерпного використання інструментів CSS3 [3].

Отже, розробка сучасного онлайн-магазину косметики має базуватися на синергії комерційного та освітнього контенту. Впровадження на сайті «Lumé» інтерактивного квізу, блогу та зручного каталогу перетворює ресурс із вітрини на повноцінного цифрового консультанта.

Список використаних джерел

1. Гащак В. М., Мельников О. В. Основи веб-дизайну та проєктування веб-застосунків : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 185 с.

2. Круг С. Не змушуйте мене думати! Речі, які потрібно знати про веб-юзабіліті. Харків : Фабула, 2020. 256 с.

3. Макфарланд Д. CSS3. Вичерпне керівництво. Київ : O'Reilly Media, 2021.

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

Башинська Юлія Іванівна
ДУ «Інститут регіональних досліджень ім. М.І. Долішнього НАН України», м. Львів , Україна,
к.е.н., ст. дослідник,
ст. науковий співробітник відділу регіональної екологічної політики та природокористування,
yu.bashynska@ukr.net

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR MODERNIZATION OF REGIONAL ECOLOGICAL POLICY OF UKRAINE

Bashynska Yuliia Ivanivna
State Institution "Institute of Regional Studies named after M.I. Dolishnyi NAS of Ukraine", Lviv, Ukraine,
Candidate of Economics, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Regional environmental policy and nature management,
yu.bashynska@ukr.net

The paper analyses the modern ecological policy of Ukraine at the stage of its deep transformation. It is defined that it is based on the two key factors: the course towards European integration (in particular, the implementation of the European Green Deal) and the need to record and overcome the colossal environmental damage caused by russia's military aggression against Ukraine. Environmental risks are long-term in nature, and the restoration of ecosystems requires significant financial resources, modern GIS technologies and state support. In these conditions, traditional methods of environmental monitoring and management are not effective enough. Modernization of regional environmental policy is impossible without the introduction of advanced digital technologies that ensure speed, transparency and objectivity of data.

Keywords: ecological policy, digital, management.

Сучасна екологічна політика України перебуває на етапі

глибокої трансформації, що зумовлено двома ключовими факторами: курсом на євроінтеграцію (зокрема, імплементацією Європейського зеленого курсу) та необхідністю фіксації і подолання колосальних екологічних збитків, завданих військовою агресією росії проти України. Екологічні ризики мають довгостроковий характер, а відновлення екосистем потребує значних фінансових ресурсів, сучасних ГІС-технологій та державної підтримки [1].

У цих умовах традиційні методи екологічного моніторингу та управління виявляються недостатньо ефективними. Модернізація регіональної екологічної політики неможлива без впровадження передових цифрових технологій, які забезпечують швидкість, прозорість та об'єктивність даних.

До основних проблем, з якими стикаються територіальні громади та обласні адміністрації у сфері екологічного управління, належать:

фрагментарність даних та відсутність єдиної інтегрованої системи збору екологічної інформації на рівні громад [2];

застаріла інфраструктура, оскільки більшість постів спостереження за станом повітря та води працюють у ручному або напівавтоматичному режимах;

брак фінансування та кадрів, особливо дефіцит кваліфікованих спеціалістів (екологів-аналітиків) на місцях у громадах;

вплив війни створює необхідність дистанційного моніторингу замінованих або тимчасово окупованих територій.

Для подолання зазначених викликів необхідно впроваджувати комплексні цифрові рішення. Нижче у табл. 1. наведено основні технології та сфери їхнього застосування.

Цифровізація дозволяє змістити фокус екологічного управління з державного центру безпосередньо на рівень територіальних громад. Цифрова трансформація і екологізація управління як критичні технології й інструменти сталого розвитку набувають виключної актуальності, тому що вони сприяють зниженню екологічних ризиків, впровадженню екологічно безпечних методів виробництва, формуванню

екологічної культури та грамотності. Високий рівень цифровізації дозволяє стейкхолдерам простіше та швидше отримувати необхідну інформацію про діяльність компанії, і таким чином зменшувати інформаційні асиметрії в екологічних аспектах виробничої діяльності. Завдяки цифровізації компанії практично не можуть приховувати незручні для них результати діяльності, а інвестори мотивують менеджмент брати активну участь у ESG-повістці, інвестуючи у більш екологічні та безпечні активи [3].

Таблиця 1. Основні цифрові інструменти модернізації регіональної екологічної політики

Технологія	Сутність інструменту	Регіональне застосування в екології
IoT	Мережі смарт-сенсорів та датчиків	Автоматизований контроль якості повітря, рівня радіації та стану водойм у режимі реального часу.
GIS та супутникові дані	Геоінформаційні системи	Картування вирубок лісів, стихійних сміттєзвалищ, оцінка площ лісових пожеж та забруднення ґрунтів.
Big Data та ШІ	Аналітика великих даних	Прогнозування екологічних ризиків, моделювання поширення забруднюючих речовин (наприклад, після атак на НПЗ).
Блокчейн	Розподілені реєстри даних	Забезпечення прозорості у сфері управління відходами, видачі екологічних дозволів та торгівлі квотами на викиди.
Краудсорсинг	Мобільні додатки для громадян	Залучення населення до еко-контролю (наприклад, фіксація екозлочинів через застосунок «ЕкоЗагроза»).

Ключові напрямки дій для регіонів:

Інтеграція місцевих даних з національними системами

(наприклад, Державним екологічним реєстром) для відкритого доступу громадян до інформації через створення регіональних дашбордів. Регіональні дашборди повинні стати єдиним вікном екологічної інформації, що включатиме інтерактивні карти, інструменти візуалізації динаміки забруднень та систему сповіщень для населення. Такий підхід не лише підвищить прозорість і довіру до місцевої влади, але й слугуватиме доказовою базою для залучення цільових екологічних інвестицій чи грантів.

Впровадження систем GPS-трекінгу сміттєвозів та датчиків наповненості контейнерів для оптимізації логістики та запобігання утворенню нелегальних звалищ з метою розумного управління відходами. Окрім базового відстеження, система має інтегрувати алгоритми для динамічної побудови маршрутів, що суттєво зменшить витрати пального та викиди CO2 від самого спецтранспорту. Додатково доцільно запровадити системи бортового вагового контролю та електронні накладні. Це забезпечить наскрізний контроль життєвого циклу відходів — від моменту збору до офіційного полігону чи сміттєпереробного заводу, що фізично та юридично унеможливить скидання сміття у лісосмугах чи ярах.

Використання цифрових двійників будівель (Digital Twins) комунальної власності для моніторингу енергоефективності та скорочення викидів парникових газів. Цей інструмент базуватиметься на поєднанні інформаційних моделей будівель (BIM) із мережею IoT-датчиків, які в реальному часі фіксують споживання тепла, електроенергії та води, а також параметри мікроклімату. Цифрові двійники дозволять не лише автоматично керувати опаленням і освітленням (зменшуючи енергоспоживання в неробочі години), але й проводити віртуальні стрес-тести. Наприклад, система зможе з високою точністю симулювати та розраховувати економічну окупність від утеплення даху чи встановлення сонячних панелей ще до початку будівельних робіт.

Висновки та рекомендації. Цифровізація регіональної екологічної політики в Україні є критичною необхідністю для

повоєнного відновлення та сталого розвитку територій. Використання технологій IoT, GIS, AI та залучення громадськості через мобільні платформи дозволить створити прозору та ефективну систему еко-управління. Тож, у найближчій перспективі рекомендується наступні кроки. Перш за все, уніфікувати протоколи передачі екологічних даних від муніципальних систем до державних баз. Залучати грантові кошти ЄС для закупівлі автоматизованих станцій моніторингу для потреб територіальних громад. Впровадити програми навчання для представників місцевого самоврядування щодо використання геоінформаційних систем та аналітики даних. Забезпечити максимальну відкритість екологічних показників, що сприятиме громадському контролю та залученню «зелених» інвестицій у регіони.

Список використаних джерел

1. Грушка, В., Суматохіна, І., & Сизенко, О. (2025). ПРОСТОРОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІЙНИ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА СТАЛИЙ РОЗВИТОК РЕГІОНІВ. *Економіка та суспільство*, (80). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-77

2. Кононенко І. Державна екологічна політика в умовах децентралізації влади в Україні. Геополітика України: історія і сучасність. 2021. № 2(27). С. 67–74. https://doi.org/10.24144/2078-1431.2021.2(27).67-74

3. БРЕЧКО , О., & КРИВОКУЛЬСЬКА, Н. (2023). ВПЛИВ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ НА ДОСЯГНЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ. *MODELING THE DEVELOPMENT OF THE ECONOMIC SYSTEMS*, (4), 201–209. https://doi.org/10.31891/mdes/2023-10-28

ОСОБЛИВОСТІ UI/UX-ДИЗАЙНУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ПРО ТВАРИН

Воронко Тимофій Ігорович
Здобувач освіти 3 курсу спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» Луцький педагогічний фаховий коледж КЗВО «Луцький педагогічний інститут» Волинської обласної ради
voronkotimofij@gmail.com
Неділько Ольга Володимирівна
Луцький педагогічний фаховий коледж КЗВО «Луцький педагогічний інститут» Волинської обласної ради, викладач інформатики

FEATURES OF UI/UX DESIGN FOR ANIMAL INFORMATION RESOURCES

Voronko Timothy Ihorovych
3rd year student of specialty 122 «Computer Science» Lutsk Pedagogical Professional College KZVO «Lutsk Pedagogical Institute» of the Volyn Regional Council
voronkotimofij@gmail.com
Nedilko Olha
teacher of computer science, Lutsk Pedagogical Professional College KZVO «Lutsk Pedagogical Institute» of the Volyn Regional Council

This paper explores the core principles of UI/UX design tailored for animal-focused web directories. It highlights the importance of visual hierarchy, structured breed cards, and intuitive navigation. Special attention is given to creating user-centric interfaces that simplify the search process and improve user engagement when selecting a pet.

Keywords: UI/UX design, web catalog, visual hierarchy, user interface, animal directory.

У сучасний цифровий вік процес пошуку та вибору домашнього улюбленця, зокрема собаки, все частіше починається з мережі Інтернет. Створення спеціалізованих інформаційних

ресурсів та каталогів вимагає особливого підходу до проєктування інтерфейсу користувача (UI) та користувацького досвіду (UX) [1]. Метою розробки таких систем є не лише надання вичерпної інформації про різні породи, але й забезпечення максимальної зручності сприйняття специфічного контенту для людей з різним рівнем кінологічної обізнаності.

Проєктування інформаційного ресурсу про тварин доцільно розпочинати зі створення інтерактивних прототипів у сучасних графічних редакторах, таких як Figma. Це дозволяє заздалегідь візуалізувати структуру майбутнього каталогу, протестувати гіпотези та продумати логіку взаємодії відвідувача з елементами сайту.

Основою UI/UX-дизайну ресурсу є картковий інтерфейс, що полегшує швидке сканування інформації та знижує когнітивне навантаження. Картка кожної породи має включати якісне фото, точну назву та базові характеристики (розмір, активність, тип шерсті), оформлені у вигляді компактних тегів або іконок.

На сторінці детального опису критично важливою є чітка візуальна ієрархія, щоб користувач міг миттєво знаходити ключові дані: особливості характеру, догляд та проблеми зі здоров'ям. Цього досягають завдяки правильному контрасту, акцентній типографіці та грамотному розподілу вільного простору (White space) між блоками контенту.

Важливим компонентом візуального сприйняття є кольорова палітра. Для тематики домашніх улюбленців оптимально підходять природні, теплі та пастельні відтінки, які викликають відчуття довіри, затишку та безпеки. Уникання надмірно яскравих або агресивних кольорів допомагає сфокусувати увагу саме на фотографіях тварин, які виступають головними візуальними якорями вебсайту.

З точки зору UX, критично важливою є система фільтрації та пошуку [2]. Оскільки параметрів вибору породи може бути багато (наприклад, призначення собаки, здатність до дресування, підхід до дітей, адаптація до квартирних умов), інтерфейс фільтрів має бути максимально інтуїтивним. Використання зрозумілих випадаючих списків, чекбоксів та повзунків дозволяє

користувачеві точно налаштувати критерії під свій стиль життя. Якісний дизайн також вимагає бездоганної технічної реалізації за допомогою сучасних стандартів HTML та CSS. Правильна семантична верстка забезпечує логічну структуру документа, що є критично важливим як для пошукової оптимізації (SEO), так і для вебдоступності (Accessibility) [3].

Адаптивний дизайн (Responsive Web Design), реалізований засобами каскадних таблиць стилів, гарантує коректне відображення всіх візуальних елементів та карток на будь-яких пристроях, забезпечуючи безперервний та якісний користувацький досвід.

Отже, ефективний UI/UX-дизайн інформаційних ресурсів про тварин базується на чіткій структуризації контенту, застосуванні паттернів карткового інтерфейсу та продуманій системі інтерактивної фільтрації. Поєднання якісного візуального прототипування з грамотною семантичною версткою дозволяє створити зручний, інформативний та естетично привабливий каталог. Такий продукт не лише утримує увагу аудиторії, але й ефективно допомагає майбутнім власникам орієнтуватися у великому масиві даних та робити усвідомлений вибір.

Список використаних джерел

1. Основи UI/UX дизайну: з чого почати. *Projector*. URL: https://prjctr.com/mag/osnovi-ui-ux-dizajnu (дата звернення: 11.04.2026).

2. Що таке UX та UI дизайн і в чому між ними різниця. *Cases Media*. URL: https://cases.media/article/shcho-take-ux-ta-ui-dizain-i-v-chomu-mizh-nimi-riznicya (дата звернення: 11.04.2026).

3. Семантична верстка: навіщо вона потрібна та як її використовувати. *ITVDN*. URL: https://itvdn.com/ua/blog/articles/semantic-markup (дата звернення: 11.04.2026).

РОЗРОБКА НОВОГО ПРОДУКТУ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0-5.0

Корогодова Олена Олександрівна
КПІ ім. Ігоря Сікорського, канд. економ. наук, доцент, доцент кафедри міжнародної економіки ФММ, o.korogodova@kpi.ua

NEW PRODUCT DEVELOPMENT IN THE INDUSTRY 4.0-5.0 CONTEXT

Olena Korohodova
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economics, FMM, o.korogodova@kpi.ua

A new product development process in the context of Industry 4.0-5.0 is examined. The transition to an information-oriented process with a key role of digital technologies is demonstrated. The impact of digital transformation on product lifecycle management is substantiated.

Keywords: Industry 4.0, Industry 5.0, new product development, artificial intelligence, product lifecycle.

Сучасний етап промислового розвитку характеризується переходом від 4-ї промислової революції, реалізуємої в Індустрії 4.0 до засад Індустрії 5.0 (Суспільство 5.0) в розвинутих економіках[1]. Індустрія 4.0 базується на поєднанні виробничих процесів та окремих етапів життєвого циклу продукту з Інтернетом на основі технології Інтернету речей [2]. Натомість Індустрія 5.0 зміщує фокус на задоволення фактичних нужд, потреб і побажань клієнтів у межах Суспільства 5.0. Процес розробки нового продукту у таких умовах трансформується з лінійного процесу в інформаційно-орієнтовану систему.

Зв’язок між Індустріями 4.0 та 5.0 виявляється у переході від технологічної автоматизації до масової кастомізації, де цифрові інструменти використовуються для адаптації кожної характеристики продукту до унікальних потреб конкретного споживача [1].

Цифрові технології, зокрема штучний інтелект, великі дані та хмарні обчислення є основою цифрової трансформації, де штучний інтелект розглядається як найважливіша інновація нашого часу, що революціонізує кожен напрям розвитку бізнес-ландшафту [1].

Основні сфери впливу цифрових технологій на розробку нового продукту включають:

- генерацію ідей, де штучний інтелект використовується для створення концепцій, що часто перевершують результати класичних методів мозкового штурму [3];

- побудову бізнес-кейсу, де штучний інтелект допомагає будувати фактологічні сценарії, аналізуючи неструктуровані дані з форумів, відгуків та оглядів споживачів [4];

- дизайн та прототипування, де використання цифрових двійників надає можливість моделювати поведінку продукту в реальних умовах використання до створення фізичного прототипу [3; 5].

Coper підкреслює, що «штучний інтелект ідеально підходить для розширення процесу розробки нового продукту, перевершуючи людей у зборі, обробці та аналізі інформації» [3].

Цифрова трансформація виступає довгостроковим чинником впливу на тривалість життєвого циклу продукту (ЖЦП). В умовах Індустрії 4.0 спостерігається тенденція до скорочення циклів розробки, але одночасно з'являються можливості для штучного подовження саме фази зрілості ЖЦП [2; 6], рис. 1.

Рисунок 1. Зміни в управлінні ЖЦП

На рисунку наведено ключові напрями трансформації життєвого циклу продукту в умовах цифровізації, зокрема скорочення часу виходу на ринок завдяки штучному інтелекту, зростання швидкості масштабування продуктів, оптимізацію фаз ЖЦП із подовженням стадії зрілості та затримкою спаду, а також інтернаціоналізацію життєвого циклу через експансію транснаціональних компаній на менш розвинені ринки.

В умовах Індустрії 4.0-5.0 розробка продукту починається не з виробництва, а з нужди споживача [2; 1]. Процес розробки продукту, заснований на нуждах, потребах і побажаннях споживачів, привернув увагу після зміщення акценту з безпосереднього виробництва на причини споживання [2]. І, відповідно, в умовах сьогодення трансформація споживчого досвіду включає такі тенденції:

1) Інтерпретована сегментація, де використання методів машинного навчання для аналізу онлайн-відгуків дозволяє ідентифікувати групи споживачів із незадоволеними потребами [4];

2) Гнучкість виробництва, а саме дрібносерійне виробництво з використанням 3D-друку дозволяє адаптувати будь-яку характеристику продукту під специфічні потреби замовника;

3) Екологічність та сталість, коли сучасні вимоги споживачів змушують компанії шукати баланс між економічними та екологічними перевагами, роблячи продукт придатним для ремонту та вторинної переробки.

Отже, розробка нового продукту в умовах Індустрії 4.0-5.0 трансформується у високотехнологічний процес, де штучний інтелект та інші цифрові інструменти дозволяють керувати ризиками та невизначеністю. Перехід до кастомізації та врахування нужд, потреб і побажань замовника стає одним з найважливіших факторів конкурентоспроможності. Цифрова трансформація не лише прискорює створення інновацій, а й докорінно змінює структуру життєвого циклу продукту, орієнтуючи його на сталий розвиток та максимальну відповідність очікуванням споживачів.

Список використаних джерел

1. Korohodova O., Lashyna Y. (2022) Product development approaches in Industry 4.0. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. С. 256–258. https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/272071

2. Korohodova O. (2021) Transnational companies’ product development in Industry 4.0. Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2021. № 19. С. 193–198. DOI: https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.231168

3. Cooper R. G. (2024) The AI transformation of product innovation. Industrial Marketing Management. 2024. Vol. 119. P. 62–74. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2024.03.008

4. Joung J., Kim H. (2023) Interpretable machine learning-based approach for customer segmentation for new product development from online product reviews. International Journal of Information Management. Vol. 70. 102641 https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102641

5. Vallé R., Seitz J., Kanbach D. K., Schuhmacher M. C. (2026) The use of artificial intelligence in new product development: A systematic literature review, conceptual framework, and future research agenda. Technovation. 2026. Vol. 153. 103541. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2026.103541

6. Serdiuk S., Korohodova O. (2025) International product life cycle in the context of digital transformation. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. https://istc-proc.kpi.ua/article/view/331239

ІНТЕГРАЦІЯ ШІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ СТАЛОГО ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Лук'янчук Юрій Анатолійович
кафедра комп'ютерних наук, Луцький національний технічний університет, к.т.н, доцент, iuriiukianchuk87@gmail.com
Тулашвілі Юрій Йосипович
кафедра комп'ютерних наук, Луцький національний технічний університет, д.пед.н, професор, y.tulashvili@lutsk-ntu.com.ua

INTEGRATION OF AI AND RENEWABLE ENERGY FOR SUSTAINABLE INDUSTRIAL INTELLIGENCE

Lukianchuk Iurii
Department of Computer Science, Lutsk National Technical University, Ph.D., Associate Professor, iuriiukianchuk87@gmail.com
Yurii Tulashvili
Department of Computer Science, Lutsk National Technical University, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, y.tulashvili@lutsk-ntu.com.ua

The rapid adoption of artificial intelligence in industry increases energy consumption, which is often overlooked. This study examines the combination of AI with renewable energy systems as a path to sustainable industrial intelligence. A three-level architecture is proposed, integrating edge computing, Green AI optimization, and renewable sources. Theoretical results are based on two experimental setups: comparing cloud vs. edge AI for computer vision, and solar-powered edge device operation. The research is conducted with a Ukrainian tea manufacturing enterprise. Expected energy savings are 55–65% from edge AI and additional 30–40% from Green AI methods. The concept aligns with UN Sustainable Development Goals (7, 9, 12).

Keywords: Edge AI, Green AI, renewable energy, smart manufacturing, energy efficiency, sustainable development, tea production.

Цифрова трансформація промисловості в межах Індустрії 4.0 сприяє масовому використанню штучного інтелекту для

автоматизації, моніторингу та контролю якості. Однак зростання складності моделей ШІ призводить до значного підвищення енергоспоживання, що стає перешкодою для сталого розвитку. Концепція Green AI, орієнтована на ресурсоощадні моделі, набуває особливої ваги в промисловості. Перспективним рішенням є Edge AI – виконання обчислень безпосередньо на локальних пристроях, що знижує навантаження на мережу та енерговитрати. Поєднання Edge AI з відновлюваними джерелами енергії дає змогу створювати автономні виробничі системи з низьким вуглецевим слідом. Мета роботи – дослідити ефективність такої інтеграції на прикладі чайного виробництва.

Luccioni зі співавторами [1] наголошують, що сучасне розгортання ШІ може істотно впливати на глобальне енергоспоживання. Schwartz та інші [2] обґрунтовують важливість урахування енергетичних витрат на всіх етапах життєвого циклу ШІ. Tulashvili та інші [3] показали, що оптимізація програмного забезпечення зменшує споживання ресурсів. Сучасні підходи [4, 5] включають стиснення моделей та граничну оптимізацію, а інтеграція відновлюваної енергетики [6, 7] забезпечує незалежне живлення інтелектуальних систем.

Запропонована концепція базується на трьох рівнях: Edge AI, Green AI оптимізації та відновлюваної енергії. На першому рівні датчики та камери виконують локальний збір даних. На другому – застосовуються методи Green AI (квантизація, проріджування, дистиляція знань), які знижують енергоспоживання при збереженні точності. На третьому – сонячні панелі та акумулятори забезпечують автономію, особливо важливу для віддалених виробничих об’єктів.

Для впровадження обрано українське підприємство з виробництва органічних трав’яних чаїв [8]. Пріоритетні процеси: контроль якості сировини за допомогою комп’ютерного зору, моніторинг цілісності пакування, вібраційний моніторинг обладнання та оптимізація енергоспоживання лінії. Підприємство розташоване в регіоні з доброю сонячною інсоляцією, що робить сонячне живлення технічно й економічно доцільним.

Розроблено два експериментальні стенди. Перший –

порівняння хмарного (ResNet-50 на ПК) та локального (MobileNetV3 на Raspberry Pi 4 з INT8 квантизацією) ШІ для виявлення дефектів пакування. Другий стенд – автономна робота Raspberry Pi 4 з вібраційним датчиком MPU6050 від сонячної панелі 50 Вт, PWM-контролера та Li-ion батареї 20 А·год.

У таблиці 1 наведено порівняння хмарної та локальної конфігурацій.

Таблиця 1. Порівняння енергоспоживання ШІ

Параметр	Хмарний ШІ	Локальний ШІ	Різниця
Середня потужність	95 Вт	18 Вт	–81%
Енергія на 1000 результатів	0,026 кВт·год	0,0053 кВт·год	–79,6%
Затримка (мс/зображ.)	165 мс	85 мс	–60%
Точність моделі	97,2%	93,8%	–3,4 в.п.
Мережевий трафік	15 ГБ/день	0 ГБ/день	–100%

Очікувана економія енергії – 55–65% при переході на Edge AI. Зниження точності на 3,4% є прийнятним завдяки можливості ручної перевірки. За результатами другого експерименту, граничний пристрій із сонячним живленням споживає в активному режимі 3,2 Вт, у режимі сну – 0,8 Вт. Денна генерація панелі влітку досягає 0,250 кВт·год, що забезпечує понад 48 годин автономної роботи (взимку – 12–18 год).

Запропонована архітектура інтеграції ШІ, Green AI та відновлюваної енергетики дає змогу досягти економії енергії 55–81% порівняно з хмарними рішеннями. Для чайного підприємства перевагами є зниження операційних витрат, підвищення надійності, конфіденційність даних, екологічний брендинг і масштабованість. Початкові витрати на сонячну інфраструктуру (200–300 USD на станцію) окупаються за 12–18 місяців. Пілотне впровадження заплановане на III–IV квартал 2026 року. Підхід узгоджується з ЦСР ООН 7, 9 та 12.

Список використаних джерел

1. Luccioni, A. S., Jernite, Y., & Strubell, E. (2024). Power

hungry processing: Watts driving the cost of AI deployment. In Proceedings of the ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT) (pp. 1–15). https://doi.org/10.1145/3630106.3658542

2. Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N. A., & Etzioni, O. (2020). Green AI. Communications of the ACM, 63(12), 54–63. https://doi.org/10.1145/3381831

3. Tulashvili, Y., Lukianchuk, I., Lishchyna, V., & Lishchyna, N. (2023). Program implementation of educational electronic resource for inclusive education of people with visual impairment. In Advances in Artificial Systems for Logistics Engineering III (LNDECT, Vol. 180, pp. 251–260). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36115-9_24

4. Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 3645–3650). https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

5. Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. IEEE Internet of Things Journal, 3(5), 637–646. https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198

6. Gholami, A., Kim, S., Dong, Z., Yao, Z., Mahoney, M. W., & Keutzer, K. (2022). A survey of quantization methods for efficient neural network inference. In Low-Power Computer Vision (pp. 291–326). Chapman and Hall/CRC.

7. McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & y Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) (pp. 1273–1282).

8. TRAVKA. Ukrainian organic tea and dried herbs brand. [Електронний ресурс]. Доступно: https://travka.in.ua/uk/

КВАРЦОВІ МЕХАНОТРОННІ СЕНСОРИ ТИСКУ У ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕМОДИНАМІКИ ЛЮДИНИ

Підченко Сергій Костянтинович
Хмельницький національний університет, докт. техн. наук, завідувач кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, sergpchn@gmail.com
Хуторненко Сергій Володимирович
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О. О. Зеленського, s.khutornenko@khai.edu
Акулинічев Артем Аркадійович
Харківський національний університет радіоелектроніки, канд. техн. наук, доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського, artem.akulynichev@nure.ua

QUARTZ MECHANOTRONIC PRESSURE SENSORS IN INFORMATION SYSTEMS FOR DETERMINING HUMAN HEMODYNAMICS

Pidchenko Serhii Kostiantynovych
Khmelnytskyi National University, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Telecommunications, Media and Intelligent Technologies, sergpchn@gmail.com
Khutornenko Serhii Volodymyrovych
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the O. O. Zelensky Department of Information and Communication Technologies, s.khutornenko@khai.edu
Akulinichev Artem Arkadiyovych
Kharkiv National University of Radio Electronics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the V.V. Popovsky Department of Infocommunication Engineering, artem.akulynichev@nure.ua

The article presents the issues of using a sensor with modulated

excess pressure of the interelectrode gap of a quartz resonator excitation in systems for measuring human hemodynamic parameters.

Keywords: quartz pressure sensor, hemodynamics, sphygmography.

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) встановила, що серцево-судинні захворювання (ССЗ) є провідною причиною смертності у світі, при цьому близько 30% смертей від ССЗ є передчасними. Згідно з прогнозами ВООЗ, до 2030 року понад 23 млн. летальних випадків будуть зумовлені патологіями серцево-судинної системи (ССС). Водночас у розвинених країнах рівень смертності від ССЗ поступово знижується завдяки ефективній первинній профілактиці та постійному моніторингу функціонального ССС. Натомість у країнах із низьким і середнім рівнем доходу населення, до яких належить і Україна, спостерігається стрімке зростання цього показника.

Зазначається, що методи оцінювання параметрів кровообігу, які ґрунтуються виключно на вимірюванні артеріального тиску (систолічного, діастолічного, середнього) та частоти серцевих скорочень, мають обмежену діагностичну цінність гемодинаміки ССС. На думку провідних дослідників в цій галузі, сьогодні настав «прайм-час» для широкого впровадження методів діагностики, заснованих на аналізі форми пульсових хвиль, зареєстрованих на магістральних і периферичних артеріях людини.

В той же час, незважаючи на існування значної кількості способів отримання пульсових сигналів і методів їх обробки, єдина загальноприйнята концепція їх впровадження у медичну практику наразі відсутня [1,2].

В основу досліджень покладено новий підхід до експрес - аналізу функціонального стану ССС, який базується на використанні багатоканальної сфігмометрії з використанням високоточних кварцових сенсорів з модуляцією тиском зазору збудження п'єзоелементу (п'єзорезонансних механотронів). Використання механотронних первинних вимірювальних перетворювачів відкриває широкі перспективи щодо їх

використання в сучасних медичних діагностичних системах, зокрема в якості сфігмографічних (апланаційних) сенсорів для підвищення діагностичних процедур в системах телемедичного багатоканального експрес - діагностування показників гемодинаміки людини.

Принцип роботи механотронного сенсора тиску проілюстровано його механічною схемою (рис. 1). Для тиску, що перевищує атмосферний, відбувається прогин мембрани (рухомого електроду), у результаті чого величина зазору між центральною поверхнею п'єзоелемента і рухомим електродом (мембраною) зменшується, що призводить до модуляції (зменшення) резонансної частоти кварцового резонатора зі змінним ємнісним зазором [3].

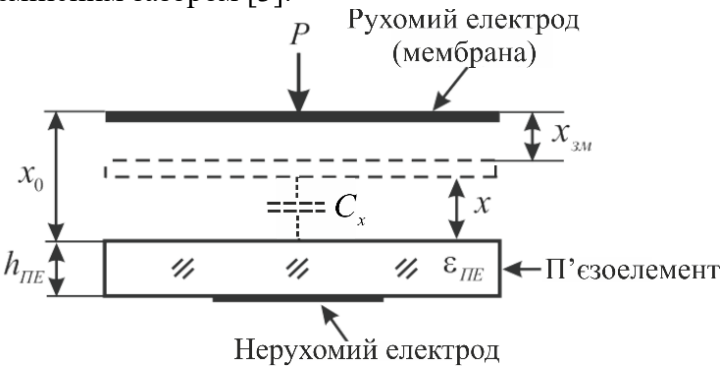


Рисунок 1. Механічна схема сенсора надлишкового тиску

Типові форми пульсової хвилі представлені на рис. 2,3. Для оцінювання швидкості поширення пульсової хвилі визначають часову затримку поширення між ритмами пульсацій крові в сонній артерії та стегновій артерії.

Сукупність отриманих результатів дозволяє створити нову концептуальну та науково-методичну базу телемедичного багатоканального експрес - діагностування гемодинаміки людини на основі розширення сигнального базису шляхом введення сигналів багатоканальної сфігмографії, сучасних підходів до організації дистанційної обробки та інтерпретації багатоканальних пульсометричних даних з використанням концепції IoT-обчислювальних систем.

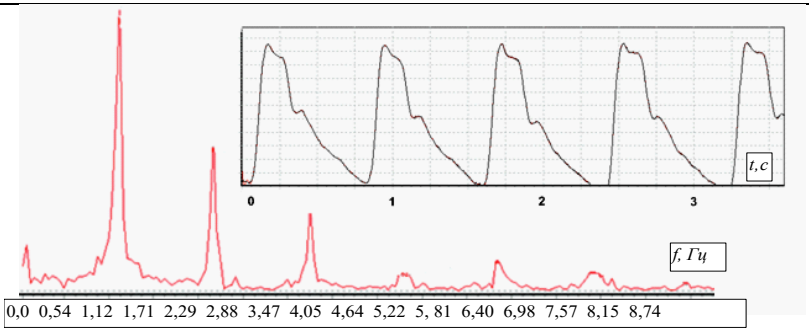


Рисунок 2. Типова форма пульсової хвилі та її спектр для здорової людини (променева артерія)

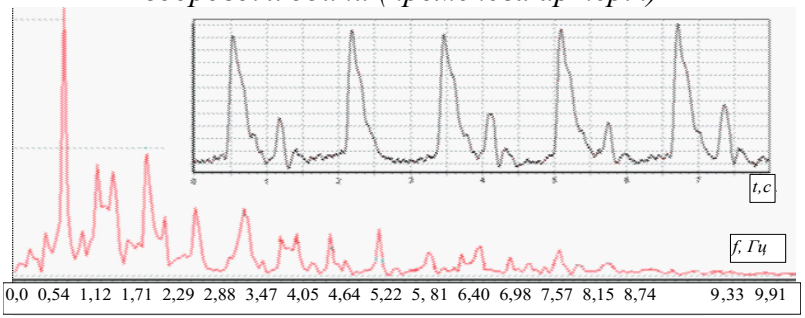


Рисунок 3. Типова форма пульсової хвилі та її спектр для хворої людини (променева артерія)

Список використаних джерел

1. B. Hametner, S, Wassertheurer, “Pulse Waveform Analysis: Is It Ready for Prime Time?”, 2017. Aug 11;19 (9):73. doi: 10.1007/s11906-017-0769-3.

2. N. Maher, G.A. Elsheikh, W.R. Anis, T. Emara, Enhancement of blood pressure estimation method via machine learning, Alexandria Engineering Journal, Volume 60, Issue 6, December 2021, Pages 5779-5796. https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.035

3. Патент № 133686 Україна, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, А. А. Акулинічев, А. В. Співак, А. І. Жизневський; заявник і патентовласник Хмельниц. нац. університет. – № u201807922 від 16.07.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019.– 6 с.: іл.

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСУ ПІДБОРУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ТА ІНВЕРТОРІВ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЖИВЛЕННЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ УКРАЇНИ

Тищенко Сергій Анатолійович
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, здобувач гр. КН-23-1б,
serhii.tyshchenko@mipolytech.education
Сагайда Павло Іванович
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, д.т.н., завідувач кафедри інформаційних технологій та аналітики даних,
pavlo.sahaida@mipolytech.education

INFORMATION SUPPORT FOR THE PROCESS OF SELECTING SOLAR PANELS AND INVERTERS FOR ALTERNATIVE POWER SUPPLY OF HOUSEHOLDS IN UKRAINE

Serhii Tyshchenko
«TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» LLC, applicant gr. CS-23-1b,
serhii.tyshchenko@mipolytech.education
Pavlo Sahaida
«TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» LLC, Zaporizhzhia, DSc (Engineering), Head of the Department of Information Technology and Data Analytics,
pavlo.sahaida@mipolytech.education

The paper substantiates the need to implement autonomous power sources in Ukraine due to the instability of the energy system. The author analyzes the shortcomings of existing commercial solutions and online calculators for selecting solar power plants, particularly their focus on sales and disregard for local climatic features. A concept for a new information system is proposed, which automates the selection of solar panels and inverters based on an up-to-date database, optimization algorithms according to budget and power, and

consideration of the specifics of Ukrainian insolation. In addition to practical applications for households, the development has educational potential for training specialists in the field of alternative energy.

Keywords: solar panels, energy independence, information system, energy efficiency.

Вступ. Сучасна енергетична ситуація в Україні є нестабільною через часті відключення електроенергії, пошкодження інфраструктури та зростання тарифів. Це створює значні незручності для домогосподарств, впливає на комфорт і безпеку життя. В умовах воєнних дій та економічних викликів потреба в автономних джерелах живлення стає критичною. Сонячні електростанції (СЕС) пропонують реальне рішення для забезпечення енергетичної незалежності та зниження витрат на електроенергію [1]. Проте основна проблема полягає у складності підбору обладнання: користувачам важко визначити оптимальну кількість панелей, тип інвертора, врахувати кліматичні умови та бюджет. Неправильний вибір може призвести до перевитрат або недостатньої продуктивності системи, що робить процес підбору обладнання складним і ризикованим для пересічного споживача [2].

На ринку України вже існують комерційні рішення «під ключ», які пропонують проектування та монтаж сонячних електростанцій. Такі компанії, як Radia Energy та Ecotech Ukraine, надають послуги підбору обладнання з урахуванням індивідуальних параметрів. Крім того, доступні онлайн-калькулятори, що дозволяють приблизно оцінити кількість панелей та вартість системи. Однак ці рішення мають суттєві обмеження: комерційні сервіси орієнтовані на продаж обладнання, а не на оптимізацію для користувача; онлайн-калькулятори часто не враховують специфіку українських регіонів, такі як інсоляція, кут нахилу та сезонні коливання; відсутня інтегрована база даних для порівняння моделей панелей та інверторів за технічними характеристиками та ціною [2-3]. Це створює прогалину для більш гнучкого та локалізованого

рішення.

Існуючі рішення на ринку включають послуги монтажу та підбору обладнання від компаній, а також онлайн-калькулятори для приблизних розрахунків. Проте ці сервіси мають обмеження: вони не забезпечують прозорості процесу підбору, не враховують локальні кліматичні умови та не пропонують навчальних можливостей для користувачів. Більшість комерційних рішень орієнтовані на продаж, а не на оптимізацію конфігурації для конкретних потреб домогосподарства. Онлайн-калькулятори, у свою чергу, не мають гнучкої бази даних і не дозволяють порівнювати обладнання за різними параметрами. Це робить їх менш ефективними для користувачів, які прагнуть отримати точні та економічно вигідні рекомендації.

Мета даної роботи полягає у створенні інформаційної системи для підбору сонячних панелей та інверторів, яка базується на сучасних технологіях та враховує специфіку українських умов. Система включатиме базу даних з актуальними характеристиками обладнання, алгоритм оптимізації, що дозволяє підбирати обладнання за критеріями потужності, бюджету та ефективності, а також зручний інтерфейс для користувача (мобільний або десктоп). Такий підхід забезпечить точність розрахунків, прозорість процесу підбору та можливість швидко отримати готову конфігурацію з розрахунком вартості. Крім того, система може бути використана як навчальний інструмент для студентів та інженерів, що сприятиме розвитку знань у сфері альтернативної енергетики.

Дана розробка може мати низку переваг у порівнянні з існуючими аналогами. По-перше, гнучкість: можливість додавати нові моделі обладнання та оновлювати дані в базі. На відміну від конфігураторів виробників, запропоноване рішення порівнює обладнання різних брендів (наприклад, інвертор Huawei + панелі JinkoSolar) для знаходження справді оптимального техніко-економічного рішення По-друге, прозорість: користувач бачить логіку вибору конфігурації та може оцінити її ефективність. По-третє, локалізація: врахування українських кліматичних умов, що робить розрахунки точнішими та більш релевантними. Нарешті,

освітній аспект: система може використовуватися як навчальний інструмент для студентів та інженерів, що сприятиме підвищенню кваліфікації у сфері альтернативної енергетики. Таким чином, дана розробка не лише вирішує проблему підбору обладнання, але й створює основу для розвитку цифрових сервісів у цій галузі.

Висновки. Запропонована інформаційна система вирішує ключову проблему підбору сонячних панелей та інверторів для домогосподарств України, забезпечуючи точність, прозорість та локалізацію розрахунків. Вона створює основу для розвитку цифрових сервісів у сфері альтернативної енергетики, сприяє підвищенню енергетичної незалежності та може використовуватися як навчальний інструмент. У перспективі система може бути розширена для інтеграції з API погоди, додавання акумуляторів та інших компонентів, що зробить її ще більш корисною та універсальною.

Список використаних джерел

1. Iwaszczuk, A., Zapukhliak, I., Iwaszczuk, N., Dzoba, O., Romashko, O. (2023). Prospects for the Development of Photovoltaics in Ukraine. European Research Studies Journal. 26, (4). URL : https://ersj.eu/journal/3287.

2. Electricity from solar energy. For your family. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (SAEE). Київ, 2019. 24 p. URL : https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/Files/vidnovuvalna-energetyka/electricity-from-solar-for-house.pdf.

3. Olis, D., Sakharova, A. Prefeasibility Assessment for Solar PV and Storage for Critical Facilities in Chernihiv, Ukraine. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2024. 78 p. URL : https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/91296.pdf.

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRO-SYSTEMS AND LIFECYCLE TRANSPARENCY

Chaika Tetiana Oleksandrivna
SSU "Agrarian-Economic Professional College of PSAU",
Candidate of Economic Sciences, Lecturer in Accounting and Economics, chayka_ta@ukr.net

The study examines the role of digital technologies in ensuring sustainability of agro-systems and lifecycle transparency. A multi-layered architecture integrating data acquisition, analytics, decision support, and traceability systems is proposed. Particular attention is given to mobile applications as scalable tools for data-driven management. The results highlight their potential to optimize resource use and enhance environmental performance.

Keywords: sustainable agro-systems, data-driven management, decision support systems, mobile applications, IoT.

Digital technologies are becoming a key driver of sustainable development in modern agro-systems, enabling data-driven management, optimization of resource use, and reduction of environmental impacts [1]. In the context of organic agriculture, characterized by increased sensitivity to ecological factors and limited use of synthetic inputs, the integration of digital solutions is particularly relevant [2].

At the same time, ensuring lifecycle transparency of agricultural production requires the implementation of integrated digital systems capable of collecting, processing, and analyzing heterogeneous data at all stages of the value chain [3]. This determines the need to consider digital technologies not as separate tools, but as components of a unified information ecosystem.

The implementation of digital technologies in sustainable agro-systems can be conceptualized as a multi-layered architecture that integrates data acquisition, processing, and decision-making functions. At the data acquisition level, technologies such as IoT sensors, unmanned aerial vehicles, and satellite monitoring systems enable continuous collection of spatial and temporal data on agro-

ecosystem conditions [4].

The data processing and analytics layer includes artificial intelligence, machine learning algorithms, and big data platforms that transform raw data into actionable insights for crop monitoring, yield prediction, and resource optimization. At the decision-support level, digital platforms and mobile applications provide farmers with real-time recommendations, facilitating adaptive and environmentally responsible management practices [1, 4].

In addition, traceability technologies, including blockchain and digital certification systems, ensure transparency of production processes across the entire lifecycle, from field to consumer. The integration of these components forms a unified digital ecosystem that supports sustainable and data-driven agricultural management [3].

The key components of the digital architecture of sustainable agro-systems and their contribution to lifecycle transparency are presented in Table 1, based on the author's synthesis [5].

Despite the significant potential of digital technologies for sustainable agro-systems, their implementation remains constrained by several systemic challenges. These include limited availability of high-quality data for organic production, insufficient integration between heterogeneous data sources, and reduced accuracy of predictive models under complex biological conditions.

In addition, infrastructural limitations, such as unstable internet connectivity and energy supply in rural areas, hinder the deployment of IoT-based solutions. The adoption of digital technologies is further constrained by economic and human factors, including high initial investment costs, low levels of digital literacy among farmers, and a shortage of specialists at the intersection of agriculture and information technologies.

Table 1. Functional components of digital technologies in sustainable agro-systems and their contribution to lifecycle transparency

Layer	Technologies	Functional role	Contribution to sustainability and lifecycle transparency
Data	IoT sensors,	Collection of	Monitoring of

acquisition	drones, satellite monitoring	real-time agro-ecological data	resource use and environmental conditions
Data processing and analytics	AI, machine learning, Big Data platforms	Data analysis, modeling, forecasting	Optimization of inputs and reduction of environmental impact
Decision support systems	Digital platforms, mobile applications	Operational decision-making support	Improvement of management efficiency and adaptability
Traceability systems	Blockchain, digital certification, QR codes	Recording and verification of production stages	Ensuring transparency and trust across the lifecycle

To overcome these challenges and accelerate the adoption of digital solutions, particular attention should be given to scalable and user-oriented technologies. Mobile applications represent one of the most accessible and effective tools for integrating digital technologies into everyday agricultural practices [6].

They enable real-time monitoring of crop conditions, support decision-making, and provide access to agronomic knowledge and recommendations. In the context of sustainable agro-systems, mobile solutions contribute to more efficient resource use, improved environmental compliance, and enhanced lifecycle transparency through continuous data collection and user interaction.

Thus, digital technologies form the basis of a data-driven transformation of agro-systems, ensuring sustainable management and increasing the transparency of production processes. The integration of data acquisition, analytics, decision support, and traceability systems enables a holistic approach to lifecycle-oriented agricultural management.

Further development of integrated digital ecosystems, particularly mobile-based solutions, will play a key role in scaling sustainable practices and strengthening the environmental and economic resilience of agro-systems.

References

1. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming: A review. Agricultural Systems, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

2. Chaika, T. O. (2025). Intehrovane zastosuvannia tsyfrovykh tekhnolohii dlia staloho rozvytku orhanichnoho zemlerobstva v Ukraini: suchasnyi stan, mozhlyvosti ta bariery. In Stiikist osvity i nauky v umovakh transformatsii (pp. 292–296). Kyiv: ZVO «MNTU». [In Ukrainian]

3. Lukash, S., & Koniev, R. (2026). Prozorist ta prostezhuvanist yak stratehichni draivery mizhnarodnoho ahrarnoho marketynhu. Aktualni pytannia ekonomichnykh nauk, 20. https://doi.org/10.5281/zenodo.18938623

4. Prikhodko, D., Sikachyna, O., Pedersen, E., Sylvester, G., & Rybchynshyi, R. (2022). Digital technologies in the grain sector of Ukraine. FAO Investment Centre. Retrieved from https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3d7da3d8-bac0-42ee-a609-1bbb993214a6/content

5. Chaika, T. O. (2026). Informatsiini tekhnolohii u stalomu rozvytku orhanichnoho zemlerobstva: intehrovani rishennia ta mobilni dodatk y. In Informatsiini tekhnolohii u suchasnomu sviti. Kharkiv: DBTU. [In Ukrainian]

6. Chaika, T. O. (2025). Zastosuvannia mobilnykh dodatkiv dlia poshyrennia ahronomichnykh znan ta konsultatsii v YeS: uroky dlia Ukrainy. In Tsyfrova ekonomika: hlobalnyi vymir (pp. 151–152). Dnipro: Universytet imeni Alfreda Nobelia. [In Ukrainian]

COMPARATIVE ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION SERVICES EXPORTS AS A FACTOR OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN UKRAINE AND THE EU

Norik Larisa Oleksiivna
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling, larisa.norik@gmail.com

The dynamics and structural features of telecommunications, computer, and information services exports in Ukraine and the EU over the period 2010–2024 are analyzed in the context of the digital economy. The level of integration is assessed using the share of exports in GDP, and the statistical significance of differences is tested using the Student's t-test. The results indicate comparable levels of development; however, differences in export structure are evident: the EU shows a more diversified structure, while Ukraine shows a concentration in computer services.

Keywords: computer services, digital economy, service exports, telecommunications services.

Digitalization of the economy in the modern world is a key driver of international trade transformation and an important prerequisite for sustainable industrial development. It creates opportunities for the provision of services on a global scale without the need for the provider's physical presence, facilitates the emergence of new sources of income, and enhances the competitiveness of national economies.

In this context, the export of telecommunications, computer, and information services becomes particularly significant as one of the most dynamic segments of the digital economy. Its development reflects a country's level of integration into global digital markets and its ability to effectively utilize digital technologies to drive economic growth and structural modernization of industry.

At the same time, analyzing the absolute volumes of such service

exports does not always allow for an objective assessment of their role in a national economy, as high values may be обусловед by the overall scale of the economy. Therefore, it is more appropriate to use a relative indicator—namely, the share of telecommunications, computer, and information services exports in gross domestic product (GDP). This indicator ensures a more accurate comparison between countries of different economic sizes. It enables the assessment of the effectiveness of integrating these services into the economic system in the context of sustainable development.

The study uses statistical data from UNCTADstat for the period 2010–2024 (the latest available reporting period), including indicators of exports of telecommunications, computer, and information services, and gross domestic product for Ukraine and European Union countries [1–2], as well as WTO data on digital services exports [3].

The analysis of the dynamics of the relative export of telecommunications, computer, and information services over the period 2010–2024 indicates a gradual increase in this indicator in both EU countries and Ukraine (fig. 1).

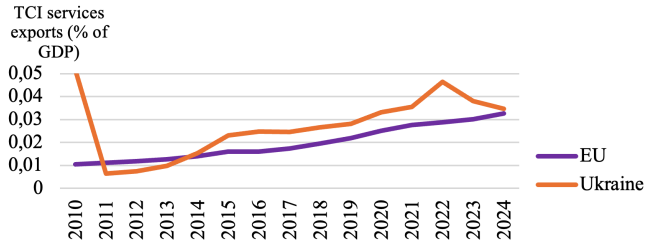


Figure 1. Comparative dynamics of telecommunications, computer, and information services exports as a percentage of GDP in Ukraine and the EU (2010–2024), based on [1–2]

For the EU, a relatively stable trajectory is observed, with moderate but steady growth throughout the period, reflecting the gradual strengthening of digital services within the economic structure. In Ukraine, the dynamics are more volatile: after a sharp initial decline, a rapid recovery is followed by sustained growth, particularly in 2015–2022. In 2022, the maximum value is reached, followed by a slight decline in 2023–2024; however, the overall level

remains above the initial values. Overall, Ukraine's average level of relative exports is somewhat higher than that of EU countries. Still, visual analysis does not allow a definitive assessment of the statistical significance of this difference. Therefore, a Student's t-test is applied to test the hypothesis of differences in the means between the two samples.

The calculations show that the average relative export value of telecommunications, computer, and information services in EU countries over the period 2010–2024 is approximately 1.97 % of GDP, whereas the corresponding average for Ukraine is 2.7 %; the standard deviations are 0.007 % and 0.013 %, respectively. The application of Student's t-test for independent samples yields a t-value of approximately 1.92 ($df \approx 28$), which does not exceed the critical value at the 0.05 significance level. Accordingly, p-value > 0.05, indicating that the difference between Ukraine and the EU is not statistically significant. These results confirm that the average levels of relative exports of telecommunications, computer, and information services in Ukraine and EU countries are comparable, with no statistically significant differences. To further interpret the findings, it is appropriate to examine the structural characteristics of telecommunications and information services within total digital services exports. According to WTO data on digital services exports [3], in EU countries, this segment accounts for a relatively small share, with telecommunications services representing about 1.8% and information services about 2.0 % in the structure of the respective services, which is significantly lower than other components of digital exports, such as computer and business services. In Ukraine, the share of telecommunications and information services is even lower: telecommunications services account for approximately 1.0 %, while information services represent about 0.7 %. This indicates a limited role of these segments in the structure of digital exports and a relatively low level of their development compared to other components. Thus, despite the overall comparability of the relative export of telecommunications, computer, and information services in GDP, the structural analysis reveals differences in the internal composition of this sector between Ukraine and the EU. This points to different

models of digital economy development: a more diversified model in the EU and a more concentrated one in Ukraine, focused on computer services.

The results indicate that the development of telecommunications and information services in Ukraine is broadly comparable to that of EU countries in terms of relative export indicators; however, it differs significantly in terms of structural balance. The concentration of exports in specific digital service segments, combined with a relatively low share of telecommunications and information services, suggests an incomplete structural transformation of the digital economy.

Accordingly, Ukraine's digital sector policy should focus not only on supporting IT service exports but also on diversifying the digital economy by developing telecommunications and information infrastructure, improving investment attractiveness, and expanding its role in value creation. It is also important to strengthen integration into European digital markets through regulatory harmonization, infrastructure development, and support for innovation in digital communications. These measures could contribute to a more balanced digital economy and enhance long-term economic resilience and industrial competitiveness.

References

1. United Nations Conference on Trade and Development. (n.d.). *Telecommunications, computer and information services (current US$)*. UNCTADstat. Retrieved from https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.TradeServCatQuarterlyAnnualized

2. United Nations Conference on Trade and Development. (n.d.). *GDP by expenditure and economic activity (current and constant prices)*. UNCTADstat. Retrieved from https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.GDPComponent

World Trade Organization. (n.d.). *Digitally delivered services trade dataset*. Retrieved from https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/gstdh_digital_services_e.htm

DESIGN OF AN INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR HEALTH MONITORING BASED ON CLIENT-SERVER ARCHITECTURE

Luís Frölén Ribeiro
Doctor of Engineering, Head of Department of Mechanical Technology, Polytechnic Institute of Bragança
Boiko Lev Stepanovych
Lutsk National Technical University, PhD,
Department of Software Engineering, l.boyko @gmail.com
Solokha Nataliia Serhiivna
Lutsk National Technical University, bachelor's,
Department of Computer Science, solokha.nataliy@gmail.com

The paper analyzes authorization mechanisms in a health monitoring system using the "HealthUp" application as an example. The system is based on a client-server architecture implemented with ASP.NET Core. Scalability challenges caused by frequent access checks are identified. A distributed authorization approach using built-in mechanisms and in-memory caching is proposed to improve performance and reduce latency. The solution ensures efficient scaling and reliable processing of medical data from integrated devices.

Keywords: authorization, high-load systems, access control, software architecture, RBAC, ABAC, mobile application, Flutter, ASP.NET Core, medical data, scalability, performance.

In the context of ongoing digitalization in healthcare, the mobile application "HealthUp" has been developed as a comprehensive tool for health management. It is based on a client-server architecture utilizing the Flutter framework [1] and ASP.NET Core technology [2]. The primary functional purpose of the system is to provide an integrated information environment for users, achieved through the monitoring of physiological parameters, adherence tracking for pharmacotherapy, and systematic management of medical documentation.

The functional capabilities of the application encompass several critically important areas of medical management. First, it provides

continuous collection and visualization of biometric data, enabling users to track the dynamics of their physiological state. Second, a medication management module has been implemented to automate the process of monitoring medication adherence. Third, the application features a secure repository for storing examination and test results [3], which facilitates interaction between patients and healthcare professionals.

The functional capabilities of "HealthUp" encompass several critically important areas of medical management. First, it ensures continuous collection and visualization of biometric data, allowing users to monitor the dynamics of their physiological state. Medication management module has been implemented, automating the process of medication intake control and the application provides a secure repository for storing examination and laboratory test results [3], which simplifies interactions between patients and medical professionals.

Particular emphasis was placed on ensuring system scalability during the architectural design process. Since the app is oriented toward integration with state-of-the-art technological devices such as smart rings for sleep tracking, biosensor patches for glucose monitoring, and smart textiles for posture correction, the architecture is designed to handle substantial data streams in real time.

One of the key components of the developed information system is the authorization mechanism, which determines users' access rights to confidential medical resources. The use of the RBAC (Role-Based Access Control) model [4] enables clear delineation of roles within the system, while elements of ABAC (Attribute-Based Access Control) [5] provide flexibility in accessing personal data depending on the context and the type of connected device.

Due to the high frequency of API requests to the backend server, a distributed authorization paradigm has been adopted [6]. The access control verification mechanism is embedded directly within the application services at the ASP.NET Core layer. To minimize response latency and alleviate the load on the primary SQL database, in-memory caching strategies for authorization data have been implemented [7]. This architectural approach enables rapid, near-

instantaneous validation of write access permissions during passive data acquisition from connected devices, which is essential for maintaining the integrity and consistency of electronic medical records.

Thus, the integration of a multifunctional monitoring platform with highly efficient security and authorization mechanisms enables "HealthUp" to operate as a reliable and scalable medical support solution.

References

1. Payne R. (2019). Beginning App Development with Flutter: Create Cross-Platform Mobile Apps. New York : Apress, 2019. URL: https://www.oreilly.com/library/view/beginning-app-development/9781484251812/ (date accessed: 03.05.2026).

2. Microsoft Learn**.** Overview of ASP.NET Core Authentication and Authorization. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/ (date accessed: 05.05.2026).

3. Flutter Documentation**.** Security and data persistence in Flutter. URL: https://docs.flutter.dev/cookbook/persistence (date accessed: 05.05.2026).

4. Ferraiolo D. F., Kuhn D. R., Chandramouli R. Role based Access Control. 2nd ed. Boston: Artech House, 2007. 405 p. URL: https://books.google.com/books/about/Role_based_Access_Control.html?id=48AeIhQLWckC (date accessed: 01.05.2026).

5. Hu V., Ferraiolo D., Kuhn R. Guide to Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations. NIST Special Publication 800-162. Gaithersburg, 2014. URL: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-162 (date accessed: 01.05.2026).

6. Policy-Based Access Control (PBAC): Debunking the Myths. URL: https://www.golodiuk.com/news/pbac-debunking-myths/ (дата звернення: 03.05.2026).

7. Redis. URL: https://redis.io/docs/latest/ (date accessed: 04.05.2026).

Наукове електронне видання у форматі PDF

mintech-conf.lntu.edu.ua

Луцький національний технічний університет
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Lutsk National Technical University
Lvivska street, 75, Lutsk,
43018, Ukraine

LUTSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

MINTECH • 2026

1st International Scientific and Practical Conference

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES: FROM THEORY TO PRACTICE

22–23 May 2026