



**MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE**



**KYIV NATIONAL UNIVERSITY
OF CONSTRUCTION AND
ARCHITECTURE**



**DEPARTMENT OF
INFORMATION
TECHNOLOGY**

XI International Scientific and Practical Conference

«Management of the Development of Technologies»

DIGITAL FUTURE 2026

**Intelligent Technologies and Innovative IT Solutions
for the Modernization of Educational Ecosystems,
the Construction Industry, and the Energy Sector**

Conference Proceedings

Kyiv, 28–30 May 2026

Kyiv 2026

UDC 004:37:69:620.9

Editorial board:

Chief editor:

Tetiana HONCHARENKO (Ukraine)

Deputy chief editors:

Oleksii DNIPROV (Ukraine); Petro KULIKOV (Ukraine);

Oleksandr KOVALCHUK (Ukraine)

Responsible secretary:

Ihor BOSENKO

Members:

Svitlana Biloshchytska (Kazakhstan)

Anatolii Serdiuk (Poland)

Andrii Biloshchytskyi (Kazakhstan)

Elena Gorda (Ukraine)

Oleksandr Poplavskyi (Ukraine)

Olga Solovei (Ukraine)

Nuray Shakshanbay (Kazakhstan)

Illia Sachenko (Ukraine)

Tamara Liashchenko (Ukraine)

Vladyslav Hots (Ukraine)

Serhii Dolhopolov (Ukraine)

Roman Mazurenko (Ukraine)

Igor Achkasov (Ukraine)

Shamurat Meiirkhan (Kazakhstan)

Iryna Porokhovnichenko (Ukraine)

Yurii Naumenko (Ukraine)

Svitlana Kondakova (United Kingdom)

Responsible for the issue: Oleksii Matsiievskyi, Yuliia Riabchun

Recommended for publication by the Academic Council of Kyiv National University of Construction and Architecture, Protocol No. 44 of 25.06.2026.

In the author's edition (editorial committee is not responsible for the content of conference proceedings).

Conference Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Management of the Development of Technologies». Chief editor: Tetiana Honcharenko, K.: KNUCA, 2026. 117 p.

ISBN

© KNUCA, 2026

CONTENT

ID	Author Title	Page
1.	Мартинюк Надія, Рябчун Юлія Інформаційна модель задачі вибору будівельного майданчика на основі багатoshарового штрихкодового представлення геопросторових даних.....	6
2.	Поліщук Павел, Горда Олена Чат-бот з елементами штучного інтелекту для рекомендаційної системи інтернет-магазину.....	8
3.	Прохоров Артур, Горда Олена Програмне забезпечення для організації бібліотеки та швидкого імпорту користувацьких 3d-моделей у середовищі blender.....	10
4.	Стукал Олександр, Гончаренко Тетяна Система штучного інтелекту для адаптивної складності у відеоіграх.....	12
5.	Костецький Андрій, Гоц Владислав Автоматизація моніторингу закупівель: рольова модель та багаторівневе затвердження заявок.....	14
6.	Азімов Расул, Науменко Юрій Розроблення веб сервісу медіа контенту з використанням фреймворку react.....	16
7.	Стар Яна, Тихонова Ольга Система аналізу відвідуваності навчальних занять та її вплив на підсумкові результати студентів.....	18
8.	Помогаєв Микола, Босенко Ігор Роль мобільних ігор у формуванні цифрових компетентностей та швидкості прийняття рішень.....	20
9.	Волощук Богдан, Гончаренко Тетяна Android-застосунок для планування особистого бюджету.....	22
10.	Босенко Ігор, Омельченко Максим, Максим'юк Іван Застосування машинного навчання для оцінювання можливості відновлення пошкоджених будівель і споруд.....	24
11.	Якуша Максим, Мазуренко Роман Інформаційна система автоматизованої ідентифікації дефектів промислових тросів та канатів для машинного навчання.....	26
12.	Цай Микола Інтелектуальна система комплексного управління життєвим циклом девелоперського проєкту.....	28
13.	Здрілько Микола Концептуальна модель інтелектуальної системи управління проєктами сталого будівництва.....	30
14.	Прокопчук Андрій, Пороховніченко Ірина Інтелектуальна система психологічної підтримки на основі технологій штучного інтелекту.....	32
15.	Цугунов Іван, Ачкасов Ігор Веб-система перекладу тексту в режимі реального часу на основі нейронних мереж....	34
16.	Науменко Юрій, Хаддад Антон Застосування модифікованої задачі про рюкзак для оптимізації вибору систем енергозабезпечення будівель.....	36
17.	Івахненко Павло, Лященко Тамара Теоретико-інформаційна модель матеріалів для фізично коректного рендерингу на основі мікрофацетної теорії.....	38
18.	Бражанюк Андрій, Мазуренко Роман Застосування графових моделей у задачах навігації автономного агента.....	40

19. Романенко Дмитро, Поплавський Олександр Ресурсоефективний протокол оцінювання продуктивності faas-функцій в умовах обмеженого бюджету викликів.....	42
20. Лісневський Віталій, Лісневський Владлен Розроблення AI-системи автоматизованого скринінгу резюме на основі NLP та семантичного ранжування.....	44
21. Мозгова Кіра, Тихонова Ольга Застосування алгоритмів автоматизованого розрахунку необхідних матеріалів у програмній системі організації термомодернізації житлових будинків.....	46
22. Терентьєв Олександр, Соловей Богдан Підхід до дослідження продуктивності моделей оцінювання надійності монорейкового крана за змінного обсягу телеметричних даних.....	48
23. Барабанов Олександр, Ачкасов Ігор Розробка системи автоматичного озвучування текстів на основі нейронних мереж.....	50
24. Bekturganova Aruza, Biloshchytska Svitlana Impact of dataset balancing on concrete crack detection using pca and cnn models.....	52
25. Щербаков Сергій, Рябчун Юлія 2D-гра з елементами квесту для розвитку логічного мислення.....	54
26. Гук Олександр, Кабусь Олексій Підходи до параметризації BIM-об'єктів споруд каналізаційної інфраструктури	56
27. Мішук Катерина, Кузнецов Владислав Інноваційні цифрові інструменти для оцінки вуглецевого сліду будівель.....	58
28. Самцов Павло, Саченко Ілля Еволюційний метод тривимірного зіставлення молекулярних структур з урахуванням конформаційної гнучкості.....	60
29. Коротких Юлія, Забарилко Павло Необхідність залучення інформаційних технологій в процесі викладання вищої математики.....	62
30. Sliuser Volodymyr, Smilovsky Serhiy Oscillation system parameter optimisation as a tool for managing impact-vibration forming technology of reinforced concrete products.....	64
31. Мацієвський Олексій, Гаршина Олена Автоматизована система моніторингу та візуалізації показників реалізації електротоварів на базі API маркетплейсу.....	66
32. Митяй Арсеній, Митяй Римма Інформаційні технології в управлінні сучасним виробництвом.....	68
33. Грешнов Владислав, Доля Олена Веб-система централізованого керування пристроями розумного дому.....	70
34. Митяй Арсеній, Митяй Римма Роль інформаційних технологій у підвищенні ефективності виробництва.....	72
35. Тарасовська Владислава, Поплавський Олександр Проблемні аспекти застосування штучного інтелекту в медичній діагностиці та підтримці лікувальних рішень.....	74
36. Соловей Ольга Визначення архітектурних компонентів для управління будівельними даними на основі бібліометричного аналізу.....	76
37. Shamurat Meiirkhan, Lukman Arsen, Shakshanbay Nuray, Biloshchytskyi Andrii An intelligent system for monitoring the condition of concrete structures using neural networks and image analysis methods.....	78
38. Biloshchytskyi Yevhenii, Biloshchytskyi Artem, Batyr Nursaya, Biloshchytskyi Andrii Development of a geographic information system for analytics, visualization, and forecasting of fuel consumption at gas stations.....	80
39. Alikhanova Zarina, Orynassar Nuray, Shpringer Artyom Development of models for predicting user activity in fitness applications using neural networks.....	82

40.	Учень Данило, Бардін Ярослав Інтелектуальна система керування водопостачанням на базі мікроконтролера з інтеграцією у систему “Розумний Дім”.....	84
41.	Anatolii Serdiuk, Povar Victoriia Adaptive Swarm Coordination Model for Multi-UAV Navigation Systems.....	86
42.	Alibek Anel, Simakhina Darya, Biloshchytska Svitlana Development of a system for intelligent analysis of emotional patterns in media content based on viewer feedback and script data.....	88
43.	Byurabekova Alina, Serzhan Amina, Bukayeva Mira Development of machine learning models for real estate price prediction.....	90
44.	Зажирило Андрій, Бардін Ярослав Автоматизація кошторисних розрахунків у будівництві засобами об’єктно-орієнтованого програмування.....	92
45.	Безпалий Євгеній, Пороховніченко Ірина Застосунок для моніторингу апаратної частини комп’ютера та локальної мережі.....	94
46.	Бойко Іван, Гоц Владислав Оптимізація логістики будівельних матеріалів за допомогою об’єктно-орієнтованих програмних комплексів.....	96
47.	Бабіченко Олександр, Мацієвський Олексій Full-stack веб-платформа для роботи з медіаконтентом.....	98
48.	Самофал Ельвіра, Саченко Ілля Застосування об’єктно-орієнтованого підходу для моделювання елементів об’єктів будівництва.....	100
49.	Сусідко Владислав, Долгополов Сергій Архітектура серверної частини діагностичної системи.....	102
50.	Позднякович Сергій, Хаддад Антон Гібридна архітектура забезпечення стійкості та самовідновлення систем комп’ютерного зору в умовах змагальних атак.....	104
51.	Голенков Володимир Комп’ютерне моделювання динаміки пружних ланок багатоланкового маніпулятора...	106
52.	Дисненко Анна, Федішин Богдан Інтелектуальна front-end-архітектура вебсистеми управління задачами на основі Redux Toolkit.....	108
53.	Стужук Ігор, Котляревський Олексій Адаптивна цифрова платформа координації транспортних процесів у будівельній галузі.....	110
54.	Olga Vitruk, Oleksiy Varvarchuk, Oleg Lysyuk Application of the mda framework for developing an intelligent gamified career guidance system in higher education.....	112
55.	Oksana Sirokvashina, Serhii Izvekov, Valeria Kovalyova Optimization of space-planning and structural solutions for critical infrastructure facilities considering their vulnerabilities.....	114
56.	Жовнір Ольга, Зеленський Вячеслав, Варварчук Олексій Комплексний аналіз сучасного стану досліджень у сфері геометричного та чисельного моделювання будівельних і фортифікаційних споруд.....	116

УДК 004.8

Мартинюк Надія

здобувачка вищої освіти, кафедра ІТ, orcid.org/0009-0006-9654-0352
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Рябчун Юлія

PhD (Eng.), доцент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0002-8320-4038
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ВИБОРУ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА НА ОСНОВІ БАГАТОШАРОВОГО ШТРИХКОДОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до автоматизованого вибору будівельного майданчика з використанням геоінформаційних технологій. Запропоновано подавати просторові об'єкти у вигляді багатошарового штрихкового представлення, а задачу вибору майданчика формалізувати як багатокритеріальну оптимізацію. Результатом є метод автоматизованого ранжування кандидатних ділянок за мінімаксним критерієм Понтрягіна, що може використовуватися для підтримки прийняття рішень у будівельному плануванні та відновленні інфраструктури.

Ключові слова: вибір будівельного майданчика; геоінформаційні системи; штрихкове представлення; просторовий аналіз; багатокритеріальна оптимізація; генералізація карт; операції оверлею; розв'язний інтелект.

Вступ

В умовах урбанізації та зростаючого попиту на житлову й промислову нерухомість актуальним є завдання оперативного та науково обґрунтованого вибору місця розташування будівельних об'єктів. Традиційно таке оцінювання ґрунтується на експертних висновках мультидисциплінарних команд і потребує 2–4 тижнів роботи, що робить його суб'єктивним та трудомістким. За даними Державної будівельної адміністрації України, до 30% будівельних проєктів зазнають додаткових витрат через субоптимальний вибір майданчика, що призводить до перевитрат бюджету на 15–20% [1, 2]. Цифрова трансформація галузі у форматі BIM/LIM вимагає переходу до структурованих геопросторових моделей замість ситуативних експертних оцінок [6, 7].

Особливої гостроти ця проблема набуває в умовах післявоєнного відновлення України, де масштабне відбудовування зруйнованої інфраструктури потребує автоматизованих засобів, здатних швидко обробляти великі обсяги геопросторових даних і ранжувати кандидатні ділянки за множиною критеріїв одночасно. У цьому контексті перспективним є застосування розв'язних метаевристичних алгоритмів оптимізації, зокрема гібридизації алгоритму бджіл (БА) і методу розв'язного інтелекту частинок (PSO), що поєднує ефективність локального пошуку з глобальною дослідністю [10–11].

Мета

Метою роботи є розробка інформаційної моделі та методу для автоматизованої системи оптимального вибору будівельного майданчика на основі гібридного розв'язного алгоритму, що застосовується до багатошарових геопросторових даних. Для досягнення мети вирішуються такі завдання: визначити математичні методи та моделі, необхідні для розв'язання задачі з геопросторових даних; розробити систему критеріїв оцінювання придатності майданчика та метод їх інтеграції; сформулювати задачу оптимізації у термінах обраного методу.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на поданні просторового об'єкту у вигляді багатошарового штрихкоду – вектора значень аналітичних картографічних шарів у даній точці. Формально штрихкод точки $\vec{x}$ визначається як:

$$\text{Barcode}(\vec{x}) = (\text{map}_n(\vec{x}), \dots, \text{map}_1(\vec{x})), \quad (1)$$

де $\vec{x} = ((x_1, x_2), h, t)$ — просторова координата з висотою та часовою міткою, D — загальна просторова область. Штрихкод є інваріантним до порядку шарів, що забезпечує узгоджене порівняння ділянок за картами різних масштабів і тематики.

Аналітичні карти, що використовуються при виборі майданчика, охоплюють топографічні, геодезичні, геологічні, гідрогеологічні, екологічні, метеорологічні та сейсмічні шари. Оверлейні операції – перевірка належності точки полігону,

перетин, об'єднання, буферизація, перекласифікація – формують ядро аналізу на основі штрихкодів [6]. На рис. 1 наведено схему багатопланової структури даних із загальною координатною прив'язкою.

Задача вибору майданчика формалізована як багатокритеріальна оптимізація у просторовій області $\Omega \equiv D$ розмірності 3(4).

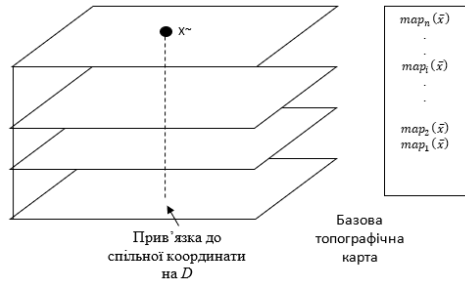


Рисунок 1 – Штрихкод – багатопланова просторова структура даних із загальною координатною прив'язкою на D

Критерії згруповано за напрямками: технічно-географічні (рельєф, геологія, гідрологія), інженерно-інфраструктурні (комунікації, транспортна доступність), екологічно-соціальні (зелені зони, шум), правові та нормативні (категорія земель, зони охорони), економічні (вартість придбання та підготовки). Цільова функція – мінімізація міри близькості між вектором властивостей еталонного об'єкта $\underline{F}(Ob_0)$ та вектором характеристик кандидатної ділянки $\underline{F}(Ob_i)$:

$$\|\underline{F}(Ob_0) - \underline{F}(Ob_i)\| \rightarrow \min, \quad (2)$$

Як міра близькості застосовано мінімакський критерій Понтрягіна, що дозволяє поєднувати різномірні шкали шарів штрихкоду без вимоги однорідності масштабів. Вектор резервних коефіцієнтів $\bar{K} = (k_1, \dots, k_n)$ дає змогу задавати відносні ваги та мінімально допустимі порогові значення для кожної групи критеріїв. Достатня умова придатності ділянки:

$$\|K \cdot \underline{F}Ob_0 - \underline{F}Ob_i\| \leq \varepsilon, d \in D \quad (3)$$

Використання штрихкового представлення дозволяє синтезувати уніфіковане інформаційне середовище, що через мультидисциплінарний підхід та інтегроване застосування розроблених моделей підтримує автоматизацію об'єктно-просторових систем у будівельних проєктах [9].

Висновок

Застосування багатопланового штрихкового представлення дає змогу агрегувати різномірні геопросторові та атрибутивні дані у єдину структуру, інваріантну до генералізації карт, та автоматизувати обробку топологічних відношень між класами

просторових об'єктів. Мінімакський критерій Понтрягіна забезпечує об'єктивне ранжування кандидатних ділянок без необхідності уніфікації масштабів вихідних карт. Розроблений підхід доцільно розглядати як основу для автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у будівельному плануванні, зокрема в умовах відновлення зруйнованої інфраструктури України.

Подальші дослідження будуть спрямовані на програмну реалізацію гібридного методу «Алгоритм бджіл – Росвий інтелект частинок» з інтеграцією шарів ГІС-даних та експериментальну валідацію на реальних геопросторових наборах даних.

Список інформаційних джерел

1. Нестеренко С. Г., Афанасьєв О. В. Технології геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 87 с.
2. Григоровський П. Є. Роль і місце геодезичних робіт у будівельному комплексі. Будівельне виробництво. 2018. № 64. С. 8–12.
3. Михно П., Лісовенко І., Бушуєв Д., Риженко І. Особливості застосування сучасних геодезичних технологій у будівництві. Технічні науки та технології. 2022. № 3(29). С. 198–209. DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-198-209.
4. Михно П. Б., Шелковська І. М., Крисанова Ю. Г., Шемякін М. В. Застосування методу експертної оцінки для планування розвитку Олександрійської територіальної громади. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 13. С. 579–597. DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.
5. Lubištani M., Lubištani F. B. Using Geodetic Data to Optimize the Distribution of Solar and Wind Energy Installations. Machinery & Energetics. 2024. Vol. 15, № 2. P. 69–80. DOI: 10.31548/machinery/2.2024.69
6. Kuta A. A., Opaluwa Y. D., Zitta N., Ojatah E., Ugolo E. M. Application of GIS Sieve Mapping and Overlay Techniques for Building Site Suitability Analysis in Part of FUT, Gidan Kwano, Minna, Nigeria. Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, № 46. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107122
7. Borkowski A. S., Kochański Ł., Wyszomirski M. A Case Study on Building Information (BIM) and Land Information (LIM) Models Including Geospatial Data. Geomatics and Environmental Engineering. 2023. DOI: 10.7494/geom.2023.17.1.19.
8. Alqahtani D., Mallick J., Alqahtani A. M., Talukdar S. Optimizing Residential Construction Site Selection in Mountainous Regions Using Geospatial Data and eXplainable AI. Sustainability. 2024. Vol. 16, № 10. Article 4235. DOI: 10.3390/su16104235.
9. Горда О. В. Метафори евристичної оптимізації у будівельних задачах. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2020. Вип. 99. С. 90–100. DOI: 10.32347/0131-579x.2020.99.90-100.
10. Горда О. В., Рябчун Ю. В. Визначення часток росєвих частинок метафоричної оптимізації в когнітивних будівельних технологіях. Проблеми управління та інформатики. 2023. № 4. С. 58–70. DOI: 10.34229/1028-0979-2023-4-5.
11. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Science and Systems. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2015. 496 p. ISBN 978-1-118-67695-0.

УДК 004.8:004.738.5:658.89

Поліщук Павелздобувач вищої освіти, кафедра ІТ, orcid.org/0009-0000-7074-1101

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Горда Оленакандидат технічних наук, доцент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-7380-0533

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЧАТ-БОТ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до побудови Telegram-бота з елементами штучного інтелекту для рекомендаційної системи інтернет-магазину одягу. Запропоновано поєднати діалоговий інтерфейс на базі великої мовної моделі Google Gemini 2.5 Flash із рекомендаційною системою на основі контентної фільтрації (CBF) та косинусної подібності. Профіль користувача формується з трьох незалежних джерел: явних уподобань з онбордингу, неявних взаємодій та намірів, витягнутих з пошукових запитів за допомогою LLM. Результатом є ранжований список персоналізованих рекомендацій, який знімає проблему холодного старту для нових товарів та працює без накопиченої історії взаємодій інших користувачів.

Ключові слова: чат-бот, рекомендаційна система, контентна фільтрація, косинусна подібність, велика мовна модель, Telegram, електронна комерція.

Вступ

Електронна комерція демонструє стійке зростання: за даними Statista, у 2024 році глобальний обсяг роздрібних онлайн-продажів сягнув 6,09 трлн доларів США, а до 2028 року прогнозується перевищення позначки у 8 трлн [1]. Разом із розширенням асортименту загострюється проблема інформаційного перевантаження покупця: збільшення кількості варіантів вибору знижує задоволеність та конверсію — так званий «парадокс вибору». Для сегменту одягу проблема є особливо гострою, оскільки рішення про покупку залежить від суб'єктивних параметрів (стиль, колір, матеріал), які не піддаються об'єктивному порівнянню. Дієвим інструментом подолання інформаційного перевантаження є персоналізація: за даними McKinsey, компанії, що демонструють високі темпи зростання, отримують на 40 % більше доходу від персоналізації [2]. Серед сучасних інструментів персоналізації найбільш перспективні — чат-боти на базі великих мовних моделей (LLM), що поєднують зручність діалогу з аналізом потреб покупця у реальному часі. Однак аналіз існуючих рішень показав, що жодне з них не поєднує одночасно діалоговий інтерфейс месенджера, гнучкість LLM та прозору математичну модель рекомендацій з мультиджерельним профілем користувача [3].

Мета

Метою роботи є розробка Telegram-бота з елементами штучного інтелекту на базі великої мовної моделі Google Gemini 2.5 Flash для інтернет-

магазину одягу, що поєднує діалоговий інтерфейс і рекомендаційну систему на основі контентної фільтрації з використанням косинусної подібності.

Виклад основного матеріалу

У роботі обрано контентну фільтрацію (Content-Based Filtering, CBF) як основу рекомендаційної системи. На відміну від колаборативної фільтрації, CBF не залежить від наявності оцінок інших користувачів і не страждає від проблеми холодного старту для нових товарів [4, 5]. Це критично важливо для нового сервісу без накопиченої історії взаємодій. Кожен товар у каталозі описаний детально (категорія, бренд, матеріал, колір, ціна, розмір) — цього достатньо для побудови векторного представлення. Для зняття холодного старту для нових користувачів передбачено онбординг — коротку анкету, що формує початкові уподобання ще до першого пошуку [6].

У межах CBF профіль користувача формується як вектор у спільному просторі ознак з товарами. Подібність між профілем та товаром обчислюється за допомогою косинусної подібності — метрики, що визначає косинус кута між двома векторами у багатовимірному просторі та варіюється від 0 (повна відсутність подібності) до 1 (повна подібність) для невід'ємних векторів [5]. Кожен товар каталогу подається у вигляді 48-вимірного вектора ознак, що поєднує закодовані категорію, бренд, колір, розміри та нормалізовану ціну.

Формально товар каталогу подається у вигляді вектора ознак:

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де X_i – вектор ознак i -го товару каталогу, $x_1, x_2, \dots, x_n$ – окремі ознаки товару (категорія, бренд, колір, розмір, ціна), n – загальна розмірність простору ознак (у роботі $n = 48$).

Релевантність товару p_0 для користувача u обчислюється як косинусна подібність між вектором профілю користувача u і вектором ознак товару $v(p_0)$: $\text{sim}(u, p_0) = \cos\theta = (u \cdot v(p_0)) / (|u| \cdot |v(p_0)|)$. Підсумкова видача формується як ранжований список товарів за спаданням значення подібності.

Профіль користувача u формується як зважена сума трьох незалежних компонент: $u = \alpha u_e + \beta u_i + \gamma u_q$, де u_e — explicit-профіль з онбордингу (явні уподобання), u_i — implicit-профіль з історії взаємодій (перегляд, додавання до обраного, кошик з різними ваговими коефіцієнтами), u_q — профіль поточного запиту, витягнутий з тексту користувача за допомогою LLM. Такий мультиджерельний підхід дає змогу враховувати як довгострокові, так і ситуативні уподобання.

Діалогова підсистема побудована на моделі Google Gemini 2.5 Flash, обрана за оптимальним співвідношенням вартості, швидкості та функціональності. Модель забезпечує класифікацію інтентів покупця та витягування структурованих параметрів запиту (категорія, бренд, колір, бюджет, розмір) у форматі JSON, що дозволяє рекомендаційній системі безпосередньо використовувати ці параметри для фільтрації та ранжування товарів без додаткового парсингу.



Рисунок 1 - Узагальнена схема роботи рекомендаційної системи на базі контентної фільтрації

Наведена схема на рис. 1 відображає послідовність роботи системи: профіль користувача, сформований з трьох джерел (онбординг, історія взаємодій, поточний запит через LLM), порівнюється з векторами ознак усіх товарів каталогу. Результатом є ранжований список рекомендацій, відсортований за спаданням значення косинусної подібності.

Висновок

Поєднання діалогового інтерфейсу на базі LLM Google Gemini 2.5 Flash і рекомендаційної системи з контентною фільтрацією та косинусною подібністю дає змогу побудувати персоналізовану систему рекомендацій для інтернет-магазину одягу. Запропонований підхід знімає проблему холодного старту для нових товарів, не вимагає накопиченої історії взаємодій інших користувачів і забезпечує мультиджерельний профіль користувача через зважене об'єднання явних, неявних та контекстних уподобань. Розроблений програмний продукт може бути використаний для підвищення конверсії та якості обслуговування покупців в інтернет-магазинах одягу.

Список інформаційних джерел

- 1.Oberlo / Statista. Global Ecommerce Sales Growth (2022–2028) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.oberlo.com/statistics/global-ecommerce-sales-growth> (дата звернення: 10.05.2026).
- 2.McKinsey & Company. The value of getting personalization right—or wrong—is multiplying. Next in Personalization 2021 Report [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/the-value-of-getting-personalization-right-or-wrong-is-multiplying> (дата звернення: 10.05.2026).
- 3.Grand View Research. Chatbot Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2024–2030 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chatbot-market> (дата звернення: 12.05.2026).
- 4.Ricci F., Rokach L., Shapira B. (Eds.) Recommender Systems Handbook. 3rd ed. Springer US, 2022. 1060 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2197-4>.
- 5.Burke R. Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments. User Modeling and User-Adapted Interaction. 2002. Vol. 12, No. 4. P. 331–370. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021240730564>.
- 6.Lops P., de Gemmis M., Semeraro G. Content-based Recommender Systems: State of the Art and Trends // Recommender Systems Handbook. Springer, 2011. P. 73–105. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_3.

УДК 004.42:004.92

Прохоров Артур

здобувач вищої освіти, кафедра ІТ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Горда Олена

кандидат технічних наук, доцент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-7380-0533

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ БІБЛІОТЕКИ ТА ШВИДКОГО ІМПОРТУ КОРИСТУВАЦЬКИХ 3D-МОДЕЛЕЙ У СЕРЕДОВИЩІ BLENDER

Анотація: У роботі розглянуто підхід до підвищення ефективності роботи з користувацькими 3D-моделями у середовищі Blender. Запропоновано архітектуру програмного аддону Custom Models Library з модульною структурою та інтеграцією у стандартне меню Shift+A. Розроблено систему зберігання моделей у нативному форматі .blend із JSON-індексацією метаданих. Результати тестування підтвердили скорочення часу виконання типових операцій імпорту до 91% порівняно зі стандартним способом, що свідчить про практичну цінність розробленого рішення.

Ключові слова: Blender, 3D-моделювання, аддон; бібліотека моделей; Python API; управління активами.

Вступ

Тривимірне моделювання є однією з ключових технологій сучасної цифрової індустрії, що широко застосовується у кінематографі, ігровій розробці, архітектурній візуалізації та промисловому дизайні. Серед інструментів 3D-моделювання вагоме місце посідає відкрите середовище Blender, кількість завантажень якого у 2024 році перевищила 14 мільйонів [1]. Попри значний функціонал, Blender має обмеження у сфері управління користувацькими бібліотеками моделей: стандартне меню Shift+A містить лише базові примітиви, а імпорт власних моделей вимагає ручного пошуку файлів і виклику файлового діалогу, що порушує робочий процес. У реальній практиці 3D-моделери часто створюють власні базові моделі з оптимізованою геометрією, які повторно використовуються у різних проектах. Відсутність централізованої бібліотеки часто використовуваних моделей зі швидким доступом через стандартний інтерфейс Blender є суттєвим недоліком існуючого робочого процесу [2]. Існуючі рішення (Asset Browser, BlenderKit, комерційні аддони) або є занадто складними для рядового користувача, або не забезпечують належного рівня інтеграції зі стандартним меню додавання об'єктів [3]. Тому розробка спеціалізованого програмного забезпечення у формі аддону, що органічно вбудовується в робочий процес, є актуальним завданням.

Мета

Метою роботи є розробка програмного

забезпечення у формі аддону для середовища Blender, що забезпечує організацію персональної бібліотеки користувацьких 3D-моделей та їх швидкий імпорт у проекти через інтеграцію зі стандартним меню Shift+A, а також мінімізує кількість дій користувача при збереженні та повторному використанні моделей.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на розробці програмного аддону Custom Models Library, що інтегрується безпосередньо у середовище Blender через його систему розширень. Аддон використовує Blender Python API для взаємодії з ядром програми та забезпечує організацію персональної бібліотеки користувацьких 3D-моделей. На основі аналізу існуючих рішень сформовано вимоги до архітектури: автономність (без потреби в інтернет-з'єднанні чи зовнішніх сервісах), портативність (бібліотека зберігається разом з аддоном), інтеграція з нативним меню Shift+A та мінімальна кількість дій для типових операцій [4].

Аддон побудовано за модульною архітектурою, що складається з п'яти логічних рівнів: рівень метаданих (bl_info), рівень зберігання даних, рівень бізнес-логіки (оператори), рівень представлення (панелі та меню) та рівень реєстрації. Такий поділ забезпечує чітке розділення відповідальностей, спрощує тестування та подальший розвиток системи. Бізнес-логіка інкапсульована у трьох операторах: OBJECT_OT_save_custom_model для збереження виділених об'єктів, OBJECT_OT_add_custom_model для імпорту моделі з бібліотеки у позицію 3D-

курсора, OBJECT_OT_delete_custom_model для видалення моделі з підтвердженням дії [5].

Для зберігання 3D-моделей обрано нативний формат Blender — .blend, оскільки він гарантує повне збереження всіх даних об'єкта (геометрії, матеріалів, текстурних координат, модифікаторів) без втрат. Альтернативні формати (OBJ, FBX, glTF) мають обмеження: OBJ не зберігає матеріали у повному обсязі, FBX є пропрієтарним з можливою втратою даних, glTF орієнтований на веб-застосунки. Бібліотека являє собою сукупність файлів моделей та індекс метаданих:

$$L = \{(m_i, I_i) \mid i = 1, 2, \dots, N\}, \quad (1)$$

де L — бібліотека моделей; m_i — i -й .blend файл моделі; I_i — запис у JSON-індексі для i -ї моделі; N — загальна кількість моделей у бібліотеці. Кожен запис індексу містить унікальне ім'я моделі, шлях до файлу та дату створення, що забезпечує швидкий доступ до метаданих без необхідності відкриття .blend файлів.

Оцінка ефективності аддону виконана шляхом порівняння часу виконання типових операцій з аналогічними операціями стандартного робочого процесу Blender. Коефіцієнт економії часу для довірливої операції обчислюється як:

$$E = (T_{std} - T_{addon}) / T_{std} \times 100\%, \quad (2)$$

де E — коефіцієнт економії часу у відсотках; T_{std} — час виконання операції стандартним способом (File > Append або Asset Browser); T_{addon} — час виконання тієї ж операції за допомогою аддону. Експериментальні вимірювання для трьох ключових сценаріїв (збереження, додавання, видалення моделі) показали значення E від 72% до 91%, причому максимальна економія досягається саме при додаванні моделі через інтеграцію зі стандартним меню Shift+A.

Програмну реалізацію виконано мовою Python з використанням Blender Python API; повний обсяг коду становить близько 250 рядків в одному файлі, що спрощує встановлення та розповсюдження аддону. Для зберігання даних об'єктів використано вбудовані функції bpy.data.libraries.write() та bpy.data.libraries.load(), що гарантують повну сумісність із внутрішнім форматом Blender. Меню Shift+A розширено через підменю Mesh → Custom

Models, що динамічно генерує список моделей при кожному відкритті. Тестування на версіях Blender 3.6 та 4.0 підтвердило коректну роботу всіх операцій, обробку помилкових ситуацій (порожня бібліотека, відсутній файл, порожня назва) та сумісність з операційними системами Windows, macOS і Linux.

Техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки виконано для типового сценарію використання аддону у студії з 5 моделерів. Розрахунки показали, що щомісячна економія робочого часу становить близько 5 годин на одного моделера, що в умовах ринкової оплати праці забезпечує сумарну економію понад 45 000 грн за півроку використання. Строк окупності витрат на впровадження не перевищує 4 місяців, що свідчить про економічну ефективність розробленого рішення для студій 3D-графіки.

Висновок

Розроблений аддон Custom Models Library є повністю функціональним програмним продуктом, що вирішує проблему організації та повторного використання користувацьких 3D-моделей у середовищі Blender. Ключовою новизною є інтеграція персональної бібліотеки моделей у стандартне меню Shift+A, що мінімізує кількість дій користувача та забезпечує органічне вбудовування в існуючий робочий процес. Аддон є безкоштовним, кросплатформним, автономним і готовим до використання у студіях 3D-графіки, навчальних закладах та індивідуальними користувачами. Підтверджена економія часу до 91% при типових операціях імпорту свідчить про практичну цінність розробленого рішення.

Список інформаційних джерел

1. Blender Foundation. Blender 4.0 Reference Manual. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/> (дата звернення: 15.03.2026).
2. Blender Foundation. Blender Python API Documentation. URL: <https://docs.blender.org/api/current/> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Conlan O. Blender 3D by Example. 2nd ed. Birmingham : Packt Publishing, 2020. 534 p.
4. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Boston : Pearson, 2015. 816 p.
5. Бородавка С. В. Основи програмної інженерії : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2023. 240 с.

Стукал Олександр

здобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0007-5586-4980

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гончаренко Тетяна

д.т.н., професор, завідувачка кафедри ІТ, orcid.org/0000-0003-2577-6916

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

СИСТЕМА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ СКЛАДНОСТІ У ВІДЕОІГРАХ

Анотація: у роботі розглянуто розробку програмної системи з адаптивною складністю на прикладі класичної гри типу «Змійка». Запропоновано модель оцінювання гравця на основі довжини змійки, тривалості сесії та темпу зростання, що формує інтегральний показник ефективності. На його основі за допомогою сигмоїдної функції обчислюється рівень складності, який керує швидкістю руху і кількістю перешкод. Реалізовано модуль штучного інтелекту мовою Python із застосуванням бібліотеки pygame; накопичена статистика попередніх ігор використовується для уточнення параметрів моделі. Тестування підтвердило плавну адаптацію складності до рівня користувача без різких стрибків.

Ключові слова: штучний інтелект; адаптивна складність; відеогра; інтегральний показник ефективності; модель гравця; сигмоїдна функція; Python.

Вступ

У сучасному геймдизайні забезпечення оптимального рівня складності є однією з ключових умов залученості користувача [1]. Фіксовані режими складності, які задаються розробником наперед, не враховують індивідуальні особливості гравця: швидкість реакції, досвід, стиль гри. Як наслідок, новачку гра може видатися надмірно складною, а досвідченому користувачу — нудною. Розв'язанням є механізми адаптивної складності, що автоматично змінюють параметри гри в реальному часі на основі поведінки гравця [2, 3].

Класичним прикладом успішної реалізації такого підходу є система AI Director у грі Left 4 Dead, яка динамічно регулює інтенсивність ігрових подій залежно від стану і результативності гравця [4]. Сучасні дослідження підтверджують доцільність застосування методів штучного інтелекту (ШІ) для побудови інтерактивних систем із самоналаштуванням [3]. Водночас більшість таких рішень орієнтовані на складні AAA-проекти; питання впровадження адаптивної складності у простих аркадних іграх із мінімальною архітектурою опрацьоване недостатньо.

Мета

Метою роботи є розробка й обґрунтування програмної системи штучного інтелекту, здатної автоматично регулювати складність відеогри

під час зміни швидкості руху ігрового об'єкта і кількості перешкод відповідно до показників успішності гравця, на прикладі реалізації гри типу «Змійка».

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на формалізованому представленні поведінки гравця у вигляді набору кількісних показників: довжини змійки L , тривалості ігрової сесії T та темпу зростання G (відношення приросту довжини до часу гри). Кожен параметр нормалізується до інтервалу $[0; 1]$ за емпірично визначеними межами, після чого формується інтегральний показник ефективності $Score_eff$ як зважена сума: $Score_eff = w_1 \cdot L + w_2 \cdot T + w_3 \cdot G$, де w_1, w_2, w_3 — вагові коефіцієнти, що визначають вплив окремих параметрів.

Для зменшення впливу випадкових коливань результат поточної сесії згладжується з урахуванням попередніх ігор за схемою $S_avg = (1 - \beta) \cdot S_prev + \beta \cdot S_current$, де $\beta \in (0; 1]$ — коефіцієнт оновлення. Перехід від оцінки ефективності до рівня складності $D \in [0; 1]$ здійснюється за допомогою сигмоїдної функції $D = 1 / (1 + \exp(-k(S_avg - S_0)))$, яка забезпечує повільне зростання на початку, найвищу чутливість у середньому діапазоні та насичення при високих значеннях. Така форма усуває різкі стрибки складності.

Рівень D керує параметрами ігрового середовища. Цільова швидкість обчислюється як

$V_{target} = V_{base} + V_{base} \cdot D^{\alpha}$, а фактична швидкість змінюється інерційно: $V_{t+1} = V_t + \gamma(V_{target} - V_t)$. Кількість перешкод визначається з урахуванням поточної швидкості: $N_{obs} = \lfloor N_{max} \cdot D \cdot (1 - \lambda \cdot V_{norm}) \rfloor$, що дозволяє компенсувати зростання одного параметра за рахунок іншого. Додатково введено обмеження на максимальний приріст ΔN_{obs} за одиницю часу і зону нечутливості для запобігання осциляціям.

Програмну реалізацію виконано мовою Python з використанням бібліотеки `pygame` [5], без застосування сторонніх бібліотек машинного навчання, оскільки задача не потребує попереднього навчання на великих наборах даних. Архітектура побудована за модульним принципом: модуль ігрової логіки (Game Core), модуль штучного інтелекту (AIController), підсистема відображення (Renderer) та модуль збереження даних (DataManager) у форматі JSON. Виконано додаткове самоналаштування вагових коефіцієнтів за причиною завершення сесії: при частих зіткненнях з перешкодами знижується вплив w_3 (темпу), при самоперетинах — підвищується w_2 (часу виживання).

Результати тестування підтвердили коректну роботу системи. На рис. 1 наведено основний ігровий екран, де відображено поточні показники: кількість очок, тривалість гри та обчислений системою рівень складності.

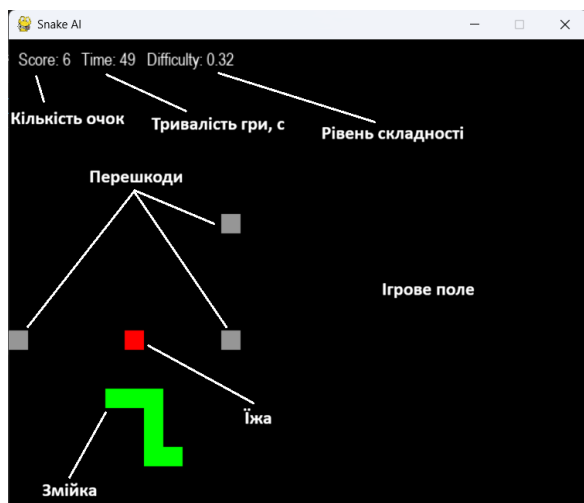


Рисунок 1 – Основний ігровий екран із відображенням рахунку, тривалості гри та обчисленого рівня складності

Висновок

Розроблено програмну систему з адаптивною складністю на прикладі гри «Змійка», у якій реалізовано формалізовану модель оцінювання поведінки гравця і відповідне динамічне регулювання параметрів ігрового середовища. Запропонований підхід забезпечує плавну адаптацію без застосування ресурсомістких алгоритмів машинного навчання та зберігає основні ознаки інтелектуальної системи: формалізовану модель прийняття рішень, врахування накопиченого досвіду і самоналаштування вагових коефіцієнтів. Подальший розвиток може передбачати ускладнення моделі, зокрема застосування алгоритмів навчання з підкріпленням, а також перенесення підходу на інші жанри ігор.

Список інформаційних джерел

1. Гречко А. В., Захаров Н. В., Фалько М. О. Аналіз динаміки розвитку ринку відеоігор, джерел його фінансування та особливостей монетизації продукції в даній сфері. Ефективна економіка. 2021. № 5. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.5.2>.
2. Атаманчук О. А. Використання штучного інтелекту в ігровій розробці: можливості та перспективи. Матеріали 78-ї студентської науково-технічної конференції «Тиждень студентської науки». Дніпро, 2023. С. 340–342. URL: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/6dae0f0d-c71a-4573-a3b2-19b4431d3afc/content>.
3. Трофименко О. Г., Дика А. І., Лобода Ю. Г., Толокнов А. А., Бондаренко М. Є. Алгоритми штучного інтелекту в розробці ігор. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». 2025. Т. 3, № 27. С. 109–119. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.27.701>.
4. Ткаченко О., Мамаєв А. Використання штучного інтелекту під час формування простору комп'ютерних ігор. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2024. Т. 7, № 1. С. 97–109. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796X.7.1.2024.307012>.
5. Pygame Front Page. Pygame. URL: <https://www.pygame.org/docs/> (дата звернення: 20.05.2026).

УДК 004.65:004.4

Костецький Андрій

здобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0008-4224-3867

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гоц Владислав

к.т.н., доцент, orcid.org/0000-0003-4384-4011

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ЗАКУПІВЕЛЬ: РОЛЬОВА МОДЕЛЬ ТА БАГАТОРІВНЕВЕ ЗАТВЕРДЖЕННЯ ЗАЯВОК

Анотація: У роботі розглянуто підхід до автоматизації процесу моніторингу закупівель будівельного обладнання. Запропоновано архітектурне рішення на основі веб-додатку з використанням фреймворку Flask, реляційної бази даних SQLite та рольової моделі доступу. Реалізовано механізм багаторівневого затвердження заявок з автоматичним визначенням статусу залежно від суми закупівлі (до 25 000 грн — автоматичне затвердження; 25 001–100 000 грн — затвердження керівником проєкту; понад 100 000 грн — затвердження фінансовим директором).

Ключові слова: автоматизація закупівель, рольова модель, Flask, SQLite, багаторівневе затвердження, журнал аудиту.

Вступ

У сучасних будівельних компаніях проблема неефективного управління закупівлями обладнання залишається актуальною. Процес включає ручний пошук постачальників через розрізнені джерела, відсутність єдиної бази історії закупівель та цін, складний процес затвердження заявок через паперові документи, а також відсутність аналітики ефективності постачальників. Це призводить до перевищення бюджету, затримок поставок та вибору неякісних постачальників [1].

Перспективним напрямком вирішення зазначених проблем є розробка спеціалізованих інформаційних систем для автоматизації закупівельної діяльності (e-procurement systems). Як показують дослідження, легкість використання системи суттєво впливає на реальну поведінку користувачів через формування їхнього позитивного ставлення до системи [2]. Крім того, впровадження таких систем дозволяє забезпечити кращий контроль над витратами та підвищити продуктивність роботи менеджерів з закупівель [3].

Мета та завдання

Метою роботи є розробка інформаційної системи моніторингу закупівель будівельного обладнання з рольовою моделлю доступу та автоматизованим багаторівневим затвердженням заявок.

Для досягнення поставленої мети було реалізовано наступні функціональні можливості:

- авторизація користувачів за ролями (адміністратор, менеджер, аналітик, керівник проєкту, фінансовий директор);
- пошук та порівняння постачальників за критеріями;
- формування заявок на закупівлю з автоматичним розрахунком загальної вартості;
- автоматичне затвердження заявок залежно від суми;
- ведення журналу аудиту всіх дій користувачів;
- генерація та експорт аналітичних звітів.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на архітектурі веб-додатку, реалізованого з використанням мови Python та фреймворку Flask. Для зберігання даних використовується реляційна база даних SQLite, яка забезпечує зберігання інформації про користувачів, постачальників, обладнання, заявки на закупівлю, історію цін та журнал аудиту.

Центральним елементом системи є об'єкт «Заявка на закупівлю» (PurchaseRequest), який проходить через кілька статусів залежно від суми закупівлі. Формально залежність між сумою заявки та її статусом може бути представлена наступним чином:

Заявка автоматично отримує статус «approved» (затверджено), якщо її загальна сума не перевищує 25 000 грн. Якщо сума заявки становить від 25 001 до 100 000 грн включно, їй присвоюється статус «pending_project_manager», що означає необхідність

затвердження керівником проєкту. У випадку, коли сума заявки перевищує 100 000 грн, вона отримує статус «pending_financial_director» та потребує затвердження фінансовим директором.

Загальна сума заявки (total) розраховується як добуток кількості одиниць обладнання (quantity) на ціну за одиницю (unit_price).

Для розмежування прав доступу до функцій системи застосовано рольову модель, яка включає п'ять типів користувачів: адміністратор (керування користувачами та перегляд аудиту), менеджер (пошук постачальників та створення заявок), аналітик (перегляд аналітики та експорт звітів),

керівник проєкту (затвердження заявок до 100 000 грн) та фінансовий директор (затвердження заявок понад 100 000 грн).

На рисунку 1 наведено узагальнену схему взаємодії користувачів з системою.

Ключовою особливістю реалізації є використання шаблону Observer для системи аудиту, що автоматично логує всі дії користувачів без змін основного коду. Кожна дія, включаючи вхід у систему, створення заявки, її затвердження або відхилення, фіксується в журналі аудиту разом з IP-адресою користувача та часом виконання.

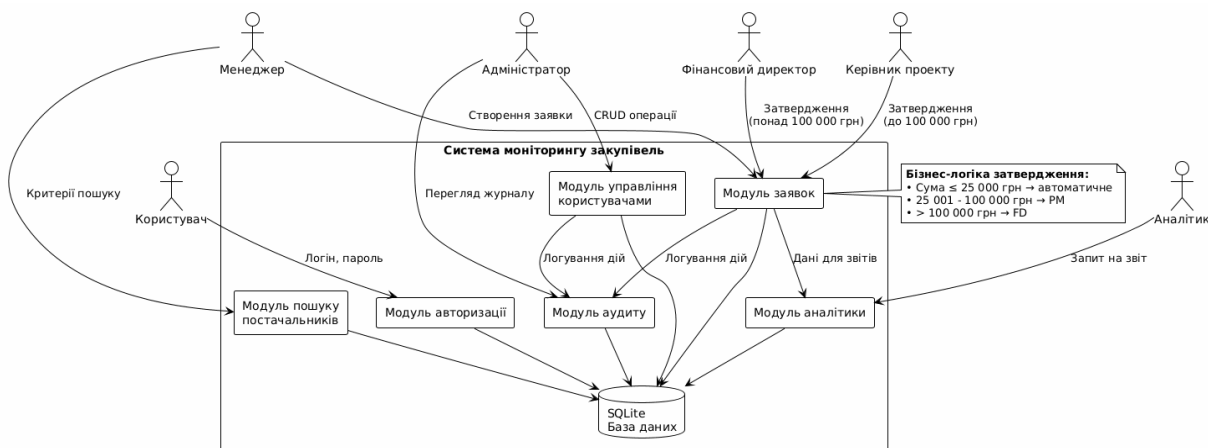


Рисунок 1 - Узагальнена схема роботи системи моніторингу закупівель

Архітектура системи

Система побудована за клієнт-серверною архітектурою. На стороні сервера працює веб-додаток на Flask, який обробляє HTTP-запити, виконує бізнес-логіку та взаємодіє з базою даних SQLite. Клієнтська частина реалізована за допомогою HTML, CSS та JavaScript. Для візуалізації аналітичних даних використовується бібліотека Chart.js, яка забезпечує інтерактивні графіки та діаграми. Взаємодія між клієнтом та сервером відбувається за допомогою асинхронних AJAX-запитів, що дозволяє оновлювати дані без перезавантаження сторінки. Журнал аудиту реалізовано з використанням шаблону Observer, що дозволяє автоматично фіксувати всі дії користувачів без зміни основного коду.

Висновки

У результаті роботи розроблено інформаційну систему моніторингу закупівель будівельного обладнання, яка забезпечує:

- автоматизацію процесу пошуку та порівняння постачальників;
- автоматичний розрахунок вартості заявок та визначення рівня затвердження;

- багаторівневе затвердження заявок відповідно до встановлених лімітів;
- ведення журналу аудиту для забезпечення прозорості всіх операцій;
- генерацію аналітичних звітів у форматах CSV, JSON та TXT.

Застосування рольової моделі доступу дозволило розмежувати права користувачів залежно від їхніх функціональних обов'язків. Розроблена система може бути впроваджена в будівельних компаніях для оптимізації процесів закупівельної діяльності.

Список використаних джерел

1. Лахтіонова Л., Юлдашова А. Оптимізація закупівельної діяльності: як вдосконалити підходи. Київ : Київська школа економіки, 2023. 44 с. URL: <https://cep.kse.ua/article/optimization-of-procurement-activities-how-to-improve-approaches.pdf>
2. Shatta D., Mabina B. The determinants of use behavior of e-procurement system in developing countries. International Journal of Business Ecosystem & Strategy. 2024. Vol. 6, no. 2. P. 151–165. URL: <https://doi.org/10.36096/ijbes.v6i2.4984>
3. Ruutu A. How to manage the long tail of procurement. UTUPub. 2020. URL: <https://www.utupub.fi/handle/10024/150995>

УДК 004.8

Азімов Расул

здобувач ступеня бакалавра, кафедра ІТ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Науменко Юрій

к.т.н., доц. кафедри ІТ, orcid.org/0009-0003-6411-455X

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБ СЕРВІСУ МЕДІА КОНТЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЙМВОРКУ REACT

Анотація: У роботі розглянуто підхід до розробки веб-сервісу потокового медіаконтенту на основі архітектури Single Page Application з використанням бібліотеки React. Запропоновано застосовувати компонентно-орієнтовану модель побудови інтерфейсу, протокол HTTP Range Requests для потокової передачі аудіоданих та ймовірнісну маршрутизацію запитів через централізований контекст глобального стану. Реалізована система забезпечує безперервне відтворення медіаконтенту, низьку затримку інтерфейсу та захист даних відповідно до стандартів OWASP.

Ключові слова: веб-сервіс, медіаконтент, React, SPA, потокова передача даних, компонентна архітектура, HTTP Range Requests, глобальний стан.

Вступ

Зростання обсягів цифрового медіаспоживання зумовлює підвищені вимоги до архітектурних рішень сучасних веб-платформ. За даними аналітичних досліджень, частка стрімінгових сервісів у загальному інтернет-трафіку перевищує 65%, а кількість активних користувачів провідних музичних платформ — понад 600 мільйонів осіб [1]. Це породжує запит на розробку легкокагових, продуктивних і технічно обґрунтованих медіасервісів, здатних стабільно працювати в умовах змінного мережевого навантаження.

Традиційні багатосторінкові веб-застосунки (МРА) не відповідають вимогам неперервності відтворення: кожен перехід між розділами призводить до повного перезавантаження HTML-документа, що неминуче перериває аудіопотік. Сучасний підхід — архітектура Single Page Application (SPA) — усуває цей недолік, забезпечуючи динамічне оновлення лише змінюваних частин інтерфейсу без зупинки медіавідтворення [2]. Водночас реалізація SPA на базі необґрунтованого технологічного стеку може призвести до погіршення метрик продуктивності, надмірного перерендеру компонентів та ускладнення управління глобальним станом.

У цьому контексті актуальним є дослідження та практична реалізація архітектурних підходів до побудови медіасервісу на фреймворку React із використанням стеку MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js), протоколу часткової передачі HTTP Range Requests та централізованої моделі управління станом на базі Context API [3].

Мета

Метою роботи є розробка і практична реалізація повнофункціонального веб-сервісу медіаконтенту на основі бібліотеки React, що забезпечує потокове відтворення аудіоданих, компонентно-орієнтовану архітектуру інтерфейсу, централізоване управління глобальним станом та захист від поширених веб-вразливостей відповідно до методології OWASP Top 10.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на поданні медіасервісу як трирівневої системи: клієнтський рівень (React SPA), серверний рівень (Node.js / Express.js REST API) та рівень зберігання даних (MongoDB Atlas та хмарне сховище Cloudinary). Взаємодія між рівнями формалізована через стандартизований REST-інтерфейс із JWT-авторизацією.

Кожен пошкоджений медіаресурс у системі описується набором атрибутів, які визначають його стан, доступність та метадані. Для уніфікованого представлення ресурсу в інформаційній системі вводиться вектор характеристик:

$$S_i = (m_1, m_2, \dots, m_n), \quad (1)$$

де S_i — вектор характеристик i -го медіаресурсу, $m_1, m_2, \dots, m_n$ — окремі атрибути (ідентифікатор, виконавець, тривалість, URL аудіофайлу, обкладинка, жанр тощо), n — загальна кількість характеристик у моделі даних.

Потокова передача аудіоданих реалізована через протокол HTTP Range Requests (RFC 9110), що

дозволяє клієнту запитувати лише необхідний фрагмент бінарного файлу без завантаження всього ресурсу [4]. Браузер надсилає запит з заголовком виду:

$$\text{Range: bytes} = \text{bs} - \text{be}, \quad (2)$$

де b_s — байтова позиція початку фрагмента, b_e — байтова позиція кінця фрагмента. Сервер повертає відповідь зі статусом 206 Partial Content та запитаним фрагментом. Це забезпечує можливість довільної перемотки треку без завантаження повного файлу, що суттєво зменшує споживання мережевого трафіку.

Компонентна архітектура клієнтської частини побудована за принципом атомарної декомпозиції: кожен елемент інтерфейсу (картка треку, аудіоплеєр, навігаційна панель, список відтворення) реалізований як незалежний React-компонент із власним станом та пропсами. Для запобігання надмірному перерендеру використовуються:

- React.memo — мемоізація компонентів, що не змінюються при оновленні батьківського стану;
- useMemo — кешування результатів обчислення похідних даних (відфільтрованих списків, відсортованих треків);
- useCallback — стабілізація посилань на функції-обробники між циклами рендерингу.

Управління глобальним станом медіаплеєра реалізовано через Context API без залучення сторонніх бібліотек. Централізоване сховище PlayerContext містить поточний трек, чергу відтворення, стан відтворення та рівень гучності. Будь-який компонент у дереві має доступ до цих даних через хук usePlayer(), що усуває проблему «прокидання пропсів» (props drilling). Для синхронізації стану React із нативним об'єктом HTMLAudioElement використовується хук useRef, що зберігає стає посилання між рендерами [3].

Для оптимізації повнотекстового пошуку реалізовано алгоритм Debouncing, що обмежує частоту відправлення HTTP-запитів до серверного API при введенні тексту користувачем. Якщо позначити затримку виконання запиту як τ (мс), то умова відправлення запиту записується у вигляді:

$$f(q) = \text{API}(q), \text{ якщо } \Delta t \geq \tau, \quad (3)$$

де q — текстовий запит, Δt — час після останнього натискання клавіші, $\tau = 500$ мс — заданий поріг затримки. Завдяки цьому кількість реальних запитів до бази даних MongoDB при швидкому наборі тексту скорочується на 80–90% порівняно з наївною реалізацією без затримки [5].

Безпека системи забезпечена на кількох рівнях: автентифікація користувачів реалізована через JWT-токени (RFC 7519), паролі зберігаються у вигляді bcrypt-хешу, захист від NoSQL-ін'єкцій досягається жорсткою типізацією через схеми Mongoose ODM, а HTTP-заголовки безпеки автоматично встановлюються бібліотекою Helmet. Конфігурація CORS обмежує доступ до API лише з верифікованих доменів, що відповідає вимогам методології OWASP Top 10 [2].

За результатами автоматизованого аудиту продуктивності Google Lighthouse розроблений сервіс отримав такі оцінки: Performance — 73/100, Accessibility — 79/100, SEO — 83/100, Cumulative Layout Shift — 0.00. Значення CLS рівне нулю підтверджує відсутність візуальних зсувів верстки під час динамічного завантаження контенту, що є критично важливим для медіаплатформ із постійно оновлюваним списком треків [5].

Висновок

Застосування архітектури SPA на основі React дозволяє забезпечити безперервне потокове відтворення медіаконтенту при навігації між розділами, що є принциповою перевагою над традиційними МРА-рішеннями. Реалізований підхід поєднує протокол HTTP Range Requests для ефективної передачі аудіоданих, компонентно-орієнтовану декомпозицію інтерфейсу та централізоване управління станом через Context API. Результати тестування підтверджують стабільну роботу системи з частотою рендерингу 60 FPS та мінімальними затримками відгуку — не більше 15–20 мс для пошукових запитів. Розроблений сервіс доцільно розглядати як практичну реалізацію архітектурних принципів побудови сучасних медіаплатформ на основі відкритого стеку MERN.

Список літератури

- 1.Flanagan D. JavaScript: The Definitive Guide. 7th ed. O'Reilly Media, 2020. 706 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/javascript-the-definitive/9781491952016/>
- 2.Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. 2nd ed. O'Reilly Media, 2021. 612 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/building-microservices-2nd/9781492034018/>
- 3.Banks A., Porcello E. Learning React: Modern Patterns for Developing Real-World Web Applications. 2nd ed. O'Reilly Media, 2020. 310 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/learning-react-2nd/9781492051718/>
- 4.Fielding R., Nottingham M., Reschke J. HTTP Semantics. RFC Editor, RFC 9110, 2022. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9110.html>
- 5.Grigorik I. High Performance Browser Networking. O'Reilly Media, 2013. 406 p. URL: <https://cdn.studio.f5.com/files/k6fem79d/production/265418323f4c8e48d117eb7a18f5db42263b846f.pdf>

УДК 004.8

Стар Яна

здобувачка вищої освіти, кафедра інформаційних технологій
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Тихонова Ольга

асистент, кафедра інформаційних технологій, orcid.org/0000-0002-2568-0992
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

СИСТЕМА АНАЛІЗУ ВІДВІДУВАНOSTІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ПІДСУМКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ СТУДЕНТІВ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до автоматизованого аналізу відвідуваності навчальних занять студентів та дослідження її впливу на академічну успішність. Запропоновано веб-орієнтовану інформаційну систему для збору, обробки та аналізу даних навчальної активності студентів. Сформовано модель оцінювання рівня відвідуваності та виявлення студентів із підвищеним ризиком академічної неуспішності. Результати можуть бути використані для підтримки управлінських рішень в освітньому процесі та підвищення його ефективності.

Ключові слова: відвідуваність студентів, інформаційна система, веб-технології, аналіз даних, академічна успішність, Python, Flask, MySQL.

Вступ

У сучасних умовах цифровізації освітнього процесу особливого значення набуває автоматизація контролю та аналізу відвідуваності студентів. Традиційні методи обліку навчальної активності є недостатньо ефективними через значні витрати часу, ризик помилок та обмежені аналітичні можливості. Зростання обсягів освітніх даних та поширення дистанційних форм навчання додатково ускладнює процес моніторингу навчальної активності студентів.

У цьому контексті актуальним є створення інформаційних систем, які дозволяють не лише фіксувати відвідуваність, а й аналізувати її вплив на академічні результати. Використання сучасних веб-технологій та методів аналізу даних дає змогу виявляти закономірності між регулярністю відвідування занять та рівнем успішності студентів, що сприяє підвищенню якості освітнього процесу.

Мета

Метою роботи є розробка інформаційної системи аналізу відвідуваності навчальних занять та дослідження її впливу на академічну успішність студентів із використанням сучасних веб-технологій та методів аналізу даних.

Виклад основного матеріалу

У межах роботи розглядається автоматизована інформаційна система обліку та аналізу відвідуваності навчальних занять, яка призначена для централізованого збору, зберігання та обробки даних про навчальну активність студентів. Основною метою системи є підвищення ефективності контролю

освітнього процесу, зменшення трудомісткості облікових операцій та забезпечення оперативного доступу до аналітичної інформації для учасників освітнього процесу.

Функціонування системи базується на реляційній базі даних, яка містить структуровану інформацію про студентів, навчальні групи, дисципліни, заняття та записи відвідуваності. Додатково передбачено можливість тимчасової обробки зовнішніх даних у форматах CSV та Excel, що дозволяє виконувати оперативний аналіз без їх збереження в основній базі даних.

З архітектурної точки зору система побудована за клієнт-серверним принципом і реалізована як веб-застосунок, що забезпечує доступ до функціоналу через браузер без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Основними категоріями користувачів є студенти, викладачі та адміністрація закладу освіти, для яких передбачено різні рівні доступу до даних та аналітичних функцій.

Інформаційна модель системи включає основні сутності предметної області: факультет, кафедра, спеціальність, навчальна група, студент, викладач, дисципліна, заняття та відвідуваність. Центральною сутністю є «Відвідуваність», яка фіксує факт присутності студента на конкретному занятті та є базою для подальшого аналізу навчальної активності.

Для формалізації процесу аналізу відвідуваності використовується математична модель, заснована на теорії множин та бінарних відношень. Факт відвідування задається функцією:

$$f(s_i, l_j) \in \{0,1\}, \quad (1)$$

де значення 1 означає присутність студента на занятті, а 0 - його відсутність.

На основі цієї функції формується індивідуальний коефіцієнт відвідуваності студента:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^N f(s_{ij})}{N}, \quad (2)$$

де N - загальна кількість занять.

Даний коефіцієнт відображає частку відвіданих занять студентом і належить інтервалу:

$$0 \leq P_i \leq 1, \quad (3)$$

Для групового аналізу використовується середній показник відвідуваності:

$$P_{group} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k P_i, \quad (4)$$

де: P_{group} - середній показник відвідуваності групи; k - кількість студентів; P_i - індивідуальні показники

На основі порогового значення здійснюється класифікація студентів за рівнем ризику. Якщо індивідуальний показник нижчий за встановлений поріг $T = 0.6$, студент відноситься до групи ризику:

$$D_i = \{1, P_i \geq T \ 0, P_i < T, \quad (5)$$

де: $D_i = 1$ - студент відповідає встановленим вимогам; $D_i = 0$ - студент належить до групи ризику.



Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму аналізу

На рисунку наведено послідовність виконання алгоритму аналізу даних відвідуваності. Спочатку система отримує інформацію з бази даних, після чого формується матриця відвідуваності. Наступним етапом є розрахунок індивідуальних показників студентів та їх порівняння з установленим пороговим значенням. На завершальному етапі обчислюється середній показник групи та формується звіт.

Модель дозволяє автоматизовано визначати

рівень навчальної активності студентів та виявляти проблемні випадки.

Реалізація системи виконана з використанням веб-технологій на базі Python та Flask, а для збереження та обробки даних використовується MySQL. Аналітична обробка та візуалізація результатів здійснюється із застосуванням бібліотек Pandas та Matplotlib, що забезпечує гнучкість аналізу та наочність представлення даних.

Запропонована система дозволяє автоматизувати процес обліку відвідуваності, виконувати її комплексний аналіз та аналізувати можливий взаємозв'язок між рівнем відвідування та академічною успішністю студентів, що підвищує ефективність управління освітнім процесом у закладах вищої освіти.

Висновок

У роботі розроблено веб-орієнтовану автоматизовану інформаційну систему аналізу відвідуваності студентів, яка забезпечує автоматизацію збору, обробки та аналізу даних освітнього процесу.

Запропонована математична модель дозволяє оцінювати рівень навчальної активності студентів на основі коефіцієнта відвідуваності та здійснювати їх класифікацію за рівнем ризику академічної неуспішності.

Використання сучасних веб-технологій та інструментів аналізу даних забезпечує можливість інтеграції системи в освітнє середовище та підвищує ефективність управління навчальним процесом у закладах вищої освіти.

Список інформаційних джерел

1. Ali N. S., Alhilali A. H., Rjeib H. D., Alsharqi H., Al-Sadawi B. Automated attendance management systems: systematic literature review. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2022. Vol. 14, No. 1. Pp. 37–65. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijtel.2022.120559>.

2. Формування моделі предметної області // Stud.com.ua. URL: https://stud.com.ua/59748/informatika/formuvannya_modeli_predmetnoyi_oblasti (дата звернення: 22.05.2026).

3. Al Hazaa K. et al. The effects of attendance and high school GPA on student performance in first-year undergraduate courses. *Cogent Education*. 2021. Vol. 8, No. 1. P. 1956857. DOI: <https://doi.org/10.1080/2331186x.2021.1956857>.

4. Bruce P., Bruce A., Gedeck P. *Practical Statistics for Data Scientists*. — O'Reilly Media, 2020.

5. VanderPlas J. *Python Data Science Handbook*. — O'Reilly Media, 2023.

УДК 004.9:004.5

Помогаєв Микола

здобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0000-1110-9659,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Босенко Ігор

PhD (Eng.), старший викладач кафедри ІТ, orcid.org/0000-0002-9046-4380
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

РОЛЬ МОБІЛЬНИХ ІГОР У ФОРМУВАННІ ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ТА ШВИДКОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Анотація: У даній роботі розглянуто роль мобільних ігор у формуванні цифрових компетентностей, розвитку уваги, швидкості реакції та прийняття рішень. Проаналізовано особливості ранніх мобільних ігор на прикладі City Bloxx та інших, механіки яких сприяли розвитку координації, просторового мислення та здатності швидко реагувати на зміну умов. У результаті опрацювання інформації було визначено вплив інтерактивних цифрових середовищ на розвиток когнітивних навичок користувачів, а також досліджено можливості використання принципів гейміфікації у сучасних освітніх екосистемах та цифрових навчальних платформах.

Ключові слова: *гра, Minecraft, City Bloxx, Chess, Steel Beasts, цифрові компетентності*

Вступ

В умовах стрімкої цифровізації суспільства та перенесення значної частини інформації про людину у цифрові платформи постає питання підготовки молодого покоління до сучасних технологічних викликів. Сьогодні цифрові навички стають необхідною складовою повсякденного життя, адже вони впливають на швидкість обробки інформації, прийняття рішень та здатність адаптуватися до змін у цифровому середовищі.

Одним із факторів, що вплинув на формування базових цифрових компетентностей у дітей покоління 2000–2010 років, стали мобільні ігри. Простий, але інтерактивний ігровий процес сприяв розвитку уваги, координації, логічного мислення та швидкості реакції. На прикладі City Bloxx можна простежити, як навіть нескладні ігрові механіки формували навички швидкого аналізу ситуації та прийняття рішень у реальному часі.

У даній роботі буде розглянуто вплив мобільних ігор на розвиток цифрових компетентностей користувачів, а також проаналізовано роль ігрових механік у формуванні когнітивних навичок та адаптації людини до сучасного цифрового середовища.

Мета

Метою даної роботи є дослідження впливу мобільних ігор на формування цифрових компетентностей, розвиток швидкості прийняття рішень, уваги та когнітивних навичок користувачів, а також аналіз можливостей використання ігрових механік у сучасних цифрових та освітніх середовищах.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день багато шкіл та викладачів переходять до подання навчального матеріалу у формі гри. Існує значна кількість цифрових платформ, що підтримують інтерактивне навчання, проте однією з найпопулярніших залишається Minecraft.

Популярність цієї гри пояснюється тим, що вона є відкритим віртуальним простором типу «пісочниця», у якому можна легко змінювати середовище та адаптувати його під освітні потреби. Завдяки цьому навчальний процес перетворюється зі звичайних лекцій на динамічне інтерактивне середовище. Учні мають можливість не лише отримувати теоретичні знання, а й одразу бачити результати власних дій у віртуальному світі.

Використання подібних ігрових платформ сприяє розвитку творчого мислення, логіки, навичок командної роботи та швидкості прийняття рішень. Крім того, інтерактивна форма навчання підвищує зацікавленість учнів і допомагає краще засвоювати інформацію завдяки практичній взаємодії з цифровим середовищем [1].

Ще одним прикладом використання цифрових ігрових та симуляційних технологій для розвитку швидкості прийняття рішень є їх застосування у військовій сфері. Зокрема, у Київський інститут Національної гвардії України було створено Центр імітаційного моделювання для підготовки військовослужбовців різних рівнів (рис. 1.). Навчання у центрі проходять курсанти бакалаврського та магістерського рівнів, ад'юнкти, слухачі курсів тактичного рівня L-1 та L-2, а також мобілізований особовий склад.



Рисунок 1 - Гейміфікація процесу навчання для військових

У процесі підготовки використовується програмне забезпечення Steel Beasts, яке дозволяє моделювати бойові дії різного масштабу — від роботи окремого екіпажу до взаємодії підрозділів рівня бригади. Такі симуляційні системи забезпечують інтерактивний навчальний процес, у межах якого військовослужбовці можуть відпрацьовувати управління підрозділами, застосування озброєння, тактичне планування, логістику та координацію дій у реальному часі [2].

Використання цифрових симуляторів значно підвищує ефективність підготовки, оскільки дозволяє створювати різноманітні сценарії бойових операцій без ризику для особового складу та техніки. Крім того, подібні технології сприяють розвитку швидкого аналізу ситуації, командної взаємодії та оперативного прийняття рішень в умовах, максимально наближених до реальних.

Одним із прикладів ранніх мобільних ігор, що впливали на розвиток цифрових навичок користувачів, була City Bloxx. Основним завданням гравця було точне розміщення поверхів будівлі один над одним для створення максимально високого хмарочоса. Кожна помилка зменшувала площу наступного поверху, що ускладнювало подальше проходження гри та вимагало більшої концентрації уваги й швидкості реакції.

Незважаючи на простий ігровий процес, гра розвивала координацію дій, просторове мислення, уважність та здатність швидко приймати рішення в умовах обмеженого часу. Подібні механіки формували у користувачів навички аналізу ситуації та адаптації до змін, що сьогодні є важливими складовими цифрових компетентностей.[3]

Сучасний ринок цифрових ігор охоплює велику кількість жанрів — від динамічних шутерів до логічних і математичних ігор, які сприяють розвитку різних когнітивних здібностей людини. Кожен тип ігор впливає на окремі аспекти мислення та формування цифрових навичок користувача.



Рисунок 2 - Шахова дошка

Наприклад, Chess допомагають розвивати стратегічне мислення, логіку, навички планування та аналізу ситуації (рис. 2.). Під час гри людина навчається прогнозувати можливі дії суперника та приймати рішення на декілька кроків наперед.[4] Динамічні ігри та шутери розвивають швидкість реакції, концентрацію уваги та здатність швидко адаптуватися до змінних умов. Логічні й математичні ігри сприяють розвитку пам'яті, аналітичного мислення та навичок розв'язання задач.

Таким чином, сучасні цифрові ігри можуть використовуватися не лише як засіб розваги, а й як ефективний інструмент розвитку інтелектуальних, когнітивних та цифрових компетентностей людини.

Висновок

Ми дослідили вплив мобільних ігор на формування цифрових компетентностей, розвиток швидкості прийняття рішень, уваги та когнітивних навичок користувачів, а також проаналізували можливості використання ігрових механік у сучасних цифрових та освітніх середовищах

Список літератури

- 1.Грати чи не грати на уроках. URL: <https://naurok.com.ua/post/navischo-grati-na-urokah-yak-pracyue-igrove-navchannya>
- 2.Зінченко С.В. Серйозні ігри як невід'ємна складова сучасного військового навчання Матеріали в всеукраїнської науково – технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, с 71-72. URL: [https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16680/1/Abstracts Computer games and multimedia innovative approach electronic communication 2025.pdf](https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16680/1/Abstracts%20Computer%20games%20and%20multimedia%20innovative%20approach%20electronic%20communication%202025.pdf)
- 3.Що нам коштує дім побудувати? 5 грудня 2006 URL: <https://www.content-review.com/articles/541/>
- 4.Романюк. О.Н., Степанець М.В., Найпопулярніші математичні комп'ютерні ігри Матеріали в всеукраїнської науково – технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, с 137-139. URL: [https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16680/1/Abstracts Computer games and multimedia innovative approach electronic communication 2025.pdf](https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16680/1/Abstracts%20Computer%20games%20and%20multimedia%20innovative%20approach%20electronic%20communication%202025.pdf)

УДК 004.4:336.7

Волощук Богдан

здобувач вищої освіти, кафедра ІТ, orcid.org/0009-0000-9177-3620

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гончаренко Тетяна

доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри ІТ, orcid.org/0000-0003-2577-6916

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ANDROID-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ОСОБИСТОГО БЮДЖЕТУ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до розробки Android-застосунку для управління персональними фінансами з мультивалютним обліком та автоматизованим розподілом прибутку на ощадні цілі. Запропоновано архітектуру MVVM з реалізацією на Kotlin та Jetpack Compose, локальним сховищем на базі Room (SQLite) і інтеграцією з зовнішніми сервісами — Currencys API для конвертації валют та Google Drive API для резервного копіювання у персональне хмарне сховище користувача. Результатом є програмний продукт, що автоматизує облік доходів і витрат, динамічно обчислює рекомендовані суми накопичень та забезпечує безпечне зберігання фінансової історії без використання сторонніх серверів.

Ключові слова: Android-застосунок, персональні фінанси, MVVM, Kotlin, Jetpack Compose, Room, Google Drive API, мультивалютний облік.

Вступ

Мінливість глобальної економіки та періодична фінансова нестабільність висувають високі вимоги до фінансової дисципліни кожної людини. Дослідження OECD у сфері фінансової грамотності показують, що значна частина населення здійснює бюджетне планування інтуїтивно, без систематичного обліку доходів і витрат [1]. В умовах України ситуація додатково ускладнюється мультивалютністю: для диверсифікації ризиків громадяни зберігають капітал у гривні, доларі США та євро, що потребує постійного моніторингу курсів і ручного перерахунку загального балансу. Іншою проблемою є відсутність систематизованого підходу до розподілу прибутку — без автоматизованих розрахунків користувачам психологічно важко регулярно виділяти частину коштів на довгострокові цілі. Аналіз популярних застосунків-аналогів (Monefy, Wallet від BudgetBakers, Zenmoney) показав, що ключовий функціонал — мультивалютність і хмарна синхронізація — у більшості випадків доступний лише за платною підпискою, а вбудовані механізми автоматичного розрахунку ощадних часток відсутні. Це обґрунтовує доцільність розробки власного Android-застосунку, що поєднує мультивалютний облік, автоматизований розподіл прибутку і безпечне зберігання даних на персональному хмарному носії користувача.

Мета

Метою роботи є розробка Android-застосунку для управління персональними фінансами та мультивалютного обліку із використанням

архітектури MVVM, локального сховища Room і хмарних сервісів — Currencys API для конвертації валют та Google Drive API для резервного копіювання.

Виклад основного матеріалу

Як цільову платформу обрано ОС Android, основною мовою — Kotlin [3] завдяки null-безпеці та підтримці асинхронних операцій через корутини. Користувацький інтерфейс реалізовано на декларативному фреймворку Jetpack Compose [4], локальне сховище — на бібліотеці Room (ORM поверх SQLite з компіляційною перевіркою SQL-запитів) [5].

Архітектура застосунку побудована за патерном MVVM (Model-View-ViewModel), рекомендованим Google як офіційний стандарт для Android-розробки [1, 2]. Патерн розділяє код на три ізольовані рівні: View (Compose-UI), ViewModel (бізнес-логіка зі StateFlow) та Model (Repository з доступом до Room DAO і зовнішніх API через Retrofit). Таке розділення спрощує тестування та зберігає стан екрана при поворотах пристрою.

Ключовою функціональністю системи є алгоритм автоматичного розрахунку рекомендованих сум накопичень. На відміну від простого підходу з фіксацією відсотка при кожній окремій транзакції, реалізовано динамічне щомісячне агрегування: система групує всі доходи користувача за календарний місяць, сумує їх та обчислює рекомендовану суму для кожного ощадного рахунку за формулою:

$$S_i = I \cdot \frac{r_i}{100}, \quad (1)$$

де S_i – рекомендована сума для i -го ощадного рахунку, I – сумарний дохід користувача за поточний календарний місяць у базовій валюті, g_i – індивідуальна відсоткова ставка, встановлена користувачем для i -го рахунку (%), n – кількість ощадних рахунків, зареєстрованих у системі.

Така агрегація показує цілісну картину за період і паралельно вирішує задачу мультивалютності: баланси усіх рахунків приводяться до єдиного еквіваленту базової валюти за актуальними курсами з Currency API.

Реляційна модель спроектована з контрольованою денормалізацією: у таблицю транзакцій дублюються назви рахунків та коди валют на момент операції, що гарантує цілісність фінансової історії навіть у разі видалення пов'язаного рахунку. Усі тривалі операції (БД, мережа) виконуються у фоновому потоці через корутини Kotlin (Dispatcher.IO), що запобігає блокуванню UI.

Резервне копіювання реалізовано через Google Drive API за моделлю BYOS (Bring Your Own Storage): файл локальної БД зберігається у прихованій системній директорії застосунку на персональному Google Диску користувача (область DriveScopes.DRIVE_APPDATA) [6]. Такий підхід усуває потребу у власній серверній інфраструктурі та залишає повний контроль над даними у користувача.

Наведена схема на рис. 1 відображає трирівневу архітектуру MVVM: рівень View (Activity, Fragments та Compose-екрани) приймає події користувача та відображає UI State; рівень ViewModel містить бізнес-логіку та реактивно публікує стан через StateFlow/SharedFlow; рівень Model інкапсулює доступ до даних через Repository (Data Manager), що звертається до локальної БД Room через DAO та до зовнішніх сервісів (Currency API, Google Drive API) через Retrofit та GDrive SDK.

Висновок

Запропонований підхід до побудови Android-застосунку для управління персональними фінансами поєднує сучасний стек технологій (Kotlin, Jetpack Compose, Room, MVVM) з інтеграцією зовнішніх сервісів для мультивалютного обліку та хмарного резервного копіювання. Реалізований алгоритм динамічного розподілу прибутку автоматизує розрахунок рекомендованих сум накопичень, а використання моделі BYOS з Google Drive API забезпечує безпечне зберігання фінансової історії без власної серверної інфраструктури. Розроблений програмний продукт може бути використаний для підвищення фінансової дисципліни користувачів та готовий до публікації в Google Play.

Список інформаційних джерел

1. Guide to app architecture [Електронний ресурс] // Android Developers. URL: <https://developer.android.com/topic/architecture> (дата звернення: 12.05.2026).
2. Android Platform Architecture [Електронний ресурс] // Android Developers. URL: <https://developer.android.com/guide/platform> (дата звернення: 12.05.2026).
3. JetBrains. Kotlin Documentation [Електронний ресурс] // Kotlin Documentation. URL: <https://kotlinlang.org/docs/home.html> (дата звернення: 12.05.2026).
4. Jetpack Compose [Електронний ресурс] // Android Developers. URL: <https://developer.android.com/develop/ui/compose> (дата звернення: 12.05.2026).
5. Room Persistence Library [Електронний ресурс] // Android Developers. URL: <https://developer.android.com/training/data-storage/room> (дата звернення: 12.05.2026).
6. Google Drive API Overview [Електронний ресурс] // Google Workspace for Developers. URL: <https://developers.google.com/workspace/drive/api/guides/about-sdk> (дата звернення: 12.05.2026).

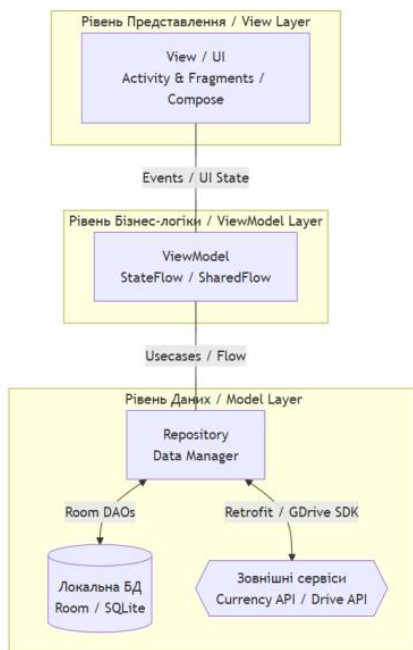


Рисунок 1 - Архітектура Android-застосунку за патерном MVVM (Model-View-ViewModel)

УДК 004.8

Босенко Ігор

PhD (Eng.), старший викладач кафедри ІТ, orcid.org/0000-0002-9046-4380

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Омельченко Максим

Провідний фахівець центру інжинірингу та експертизи

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Максим'юк Іван

Аспірант, провідний фахівець центру інжинірингу та експертизи, orcid.org/0000-0002-9775-9296

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Анотація: У роботі розглянуто підхід до попереднього оцінювання можливості відновлення пошкоджених будівель і споруд із використанням машинного навчання. Запропоновано подавати об'єкт у вигляді вектора ознак пошкодження, а задачу оцінювання формалізувати як бінарну класифікацію. Результатом є ймовірнісна оцінка можливості відновлення, що може використовуватися для формування попередньої рекомендації та підтримки експертного рішення.

Ключові слова: машинне навчання, класифікація, експертне оцінювання, пошкодження, відновлення.

Вступ

В умовах зростання кількості пошкоджених будівель і споруд актуальним є завдання швидкого та обґрунтованого оцінювання можливості їх подальшого відновлення. Традиційно таке оцінювання ґрунтується на результатах обстежень, експертних висновках, інженерних розрахунках і нормативній документації [1]. Однак у випадках масових руйнувань цей процес може бути недостатньо оперативним, оскільки потребує значних часових і кадрових ресурсів.

Складність оцінювання полягає в тому, що пошкодження мають різний характер, ступінь поширення та вплив на загальну технічну придатність об'єкта. Окремі дефекти можуть бути локальними, тоді як сукупність пошкоджень несучих конструкцій, огорожувальних елементів, інженерних систем або фундаментів може свідчити про недоцільність відновлення. У цьому контексті перспективним є застосування методів машинного навчання, які дають змогу аналізувати структуровані дані про пошкоджені об'єкти та виявляти закономірності між характеристиками пошкоджень і можливістю відновлення [2, 3]. Такий підхід не замінює експертне оцінювання, а доповнює його інструментами попереднього аналізу, ранжування об'єктів і підтримки прийняття рішень.

Мета

Метою роботи є формування узагальненого підходу до використання машинного навчання для попереднього оцінювання стану будівель і споруд на основі сукупності ознак пошкоджень та визначення можливості їх подальшого відновлення.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на поданні процесу оцінювання можливості відновлення пошкоджених будівель і споруд як задачі машинного навчання з учителем. Для побудови моделі використовується набір попередньо описаних об'єктів, для яких уже відомо, чи було їх відновлення можливим або недоцільним. На основі таких прикладів модель навчається виявляти залежності між характеристиками пошкоджень і кінцевим рішенням щодо відновлення. Для розв'язання даної задачі можуть застосовуватися алгоритми машинного навчання, призначені для класифікації структурованих табличних даних, зокрема логістична регресія, дерева рішень, випадковий ліс або методи градієнтного бустингу. Їх використання дає змогу враховувати не лише окремі ознаки пошкоджень, а й складні взаємозв'язки між ними. Особливо доцільними для таких задач є ансамблеві моделі, оскільки вони здатні працювати з різнорідними ознаками та зменшувати вплив випадкових похибок у вхідних даних.

На відміну від суто експертного підходу, машинне навчання дозволяє працювати з великою кількістю однотипних об'єктів і забезпечувати більш уніфіковану попередню оцінку. Це особливо важливо в умовах масових пошкоджень, коли необхідно швидко визначити, які будівлі та споруди мають бути обстежені першочергово, які можуть бути потенційно відновлені, а які потребують більш детального інженерного аналізу або прийняття альтернативних рішень [2].

Кожен пошкоджений об'єкт у межах такого підходу розглядається як окремий приклад, що

описується набором ознак, пов'язаних із характером, ступенем і локалізацією пошкоджень. До таких ознак можуть належати показники пошкодження несучих конструкцій, перекриттів, фундаментів, огорожувальних елементів, інженерних систем, а також узагальнений тип руйнування. На основі цих даних формується попередня оцінка того, чи є відновлення об'єкта технічно можливим і доцільним.

Формально пошкоджений об'єкт подається у вигляді вектора ознак:

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де X_i – вектор ознак i -го пошкодженого об'єкта, $x_1, x_2, \dots, x_n$ – окремі характеристики пошкоджень, n – загальна кількість ознак, що використовуються для оцінювання.

Результатом оцінювання є цільова змінна:

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad (2)$$

де $y_i=1$ відповідає випадку, коли відновлення об'єкта вважається можливим, а $y_i=0$ – коли відновлення є недоцільним або технічно неможливим. Таким чином, задача оцінювання зводиться до бінарної класифікації, що узгоджується з логікою попереднього розподілу пошкоджених об'єктів на ті, які можуть бути відновлені, і ті, для яких необхідні інші управлінські рішення.

У загальному вигляді задача машинного навчання полягає у побудові моделі, яка встановлює залежність між вхідними ознаками пошкодженого об'єкта та рішенням щодо можливості його відновлення, але оскільки в практичних задачах важливо отримати не лише кінцеве рішення, а й оцінку впевненості моделі, доцільно використовувати ймовірнісний підхід [4]. У такому випадку модель формує оцінку ймовірності того, що об'єкт може бути відновлений:

$$\hat{p}(X_i) = P(y_i = 1 | X_i), \quad (3)$$

де $\hat{p}(X_i)$ – прогнозована ймовірність можливості відновлення, $P(y_i=1|X_i)$ – умовна ймовірність того, що для об'єкта з ознаками X_i відновлення є можливим. На основі цієї ймовірності формуватиметься попередня рекомендація.

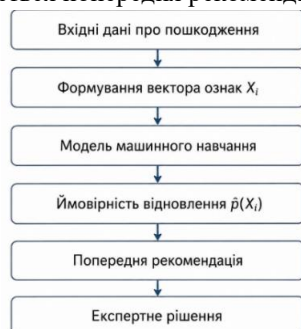


Рисунок 1 - Узагальнена схема оцінювання можливості відновлення пошкоджених будівель і споруд

Наведена схема на рис. 1 відображає

послідовність оцінювання: дані про пошкодження перетворюються на вектор ознак, який подається до моделі машинного навчання. Модель формує ймовірнісну оцінку можливості відновлення, що використовується як попередня підтримка експертного рішення [4].

Для переходу від ймовірнісної оцінки до попереднього класу об'єкта може використовуватися порогове правило:

$$y_i = \{1, \hat{p}(X_i) \geq t \ 0, \hat{p}(X_i) < t\}, \quad (4)$$

де t — заданий поріг прийняття рішення.

Отримане значення може використовуватися як додатковий параметр під час аналізу пошкодженого об'єкта. Воно дає змогу не лише віднести об'єкт до одного з двох класів, а й оцінити ступінь впевненості моделі в отриманому результаті [5].

Висновок

Застосування машинного навчання дає змогу підвищити оперативність попереднього оцінювання пошкоджених будівель і споруд та формалізувати процес визначення можливості їх відновлення. Основою підходу є аналіз сукупності ознак пошкоджень і формування ймовірнісної оцінки, яка може використовуватися для попереднього сортування об'єктів. Такий підхід доцільно розглядати як допоміжний інструмент для експертів, що сприяє більш обґрунтованому визначенню пріоритетів обстеження та подальших відновлювальних робіт.

Список літератури

1. Bosenko I. Models and methods of artificial intelligence in the process of performing building-technical expertise. Management of Development of Complex Systems. 2025. № 61. P. 180–186. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.180-186>.
2. Kashtan V. Y., Hnatushenko V. V. Automated building damage detection on digital imagery using machine learning. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023. № 6. P. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/134>
3. Wang X., Mazumder R. K., Salarieh B., Salman A. M., Shafieezadeh A., Li Y. Machine Learning for Risk and Resilience Assessment in Structural Engineering: Progress and Future Trends. Journal of Structural Engineering. 2022. Vol. 148, № 8. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003392](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003392)
4. Lazaridis P. C., Kavvadias I. E., Demertzis K., Iliadis L., Vasiliadis L. K. Interpretable Machine Learning for Assessing the Cumulative Damage of a Reinforced Concrete Frame Induced by Seismic Sequences. Sustainability. 2023. Vol. 15, № 17. Article 12768. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151712768>
5. Moghadam K. Y., Noori M., Silik A., Altabey W. A. Damage Detection in Structures by Using Imbalanced Classification Algorithms. Mathematics. 2024. Vol. 12, № 3. Article 432. DOI: <https://doi.org/10.3390/math12030432>

УДК 004.932:621.86

Якуша Максимздобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0003-2306-2095

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Мазуренко РоманPhD (Eng.), асистент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0003-3954-9423

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ ПРОМИСЛОВИХ ТРОСІВ ТА КАНАТІВ ДЛЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до автоматизації дефектоскопії сталевих канатів та тросів будівельних підйомних механізмів. Запропоновано архітектурне рішення веб-орієнтованої системи на основі фреймворку FastAPI, СКБД PostgreSQL та інструментарію OpenCV для попередньої обробки відеопотоку. Реалізовано модуль автоматичної сегментації та класифікації дефектів (обриви дротів, корозія, деформація структури) з можливістю маркування датасетів для подальшого машинного навчання.

Ключові слова: комп'ютерний зір, OpenCV, дефектоскопія, машинного навчання, FastAPI, PostgreSQL, промислова безпека.

Вступ

Промислові троси та сталеві канати є критично важливими елементами будівельних кранів, ліфтових шахт та підйомних установок. Їхне зношення, обриви окремих дротів або корозійні пошкодження безпосередньо загрожують людському життю та цілісності об'єктів. Традиційні методи контролю (візуальний огляд експертом або магнітна дефектоскопія) є або суб'єктивними та повільними, або потребують дорогого й громіздкого обладнання.

Впровадження інформаційних систем на основі комп'ютерного зору (Computer Vision) дозволяє автоматизувати безперервний моніторинг текстури тросів у реальному часі. Ба більше, створення спеціалізованого програмного середовища для підготовки, очищення та анотування таких специфічних графічних даних є базовою умовою для якісного навчання нейромережових моделей (наприклад, архітектури YOLO).

Мета та завдання

Метою роботи є розробка інформаційної системи автоматизованого виявлення дефектів сталевих канатів із функціоналом підготовки верифікованих даних для алгоритмів машинного навчання.

Для досягнення мети було реалізовано такі завдання:

- Розробка алгоритму попередньої обробки кадрів відеопотоку (фільтрація шумів, вирівнювання контрасту).
- Створення веб-інтерфейсу для інтерактивного маркування дефектних зон оператором (Bounding Boxes).

- Реалізовано логіку автоматичного аналізу геометрії: якщо кількість дефектів на крок зивки перевищує 5% — системний статус виробу змінюється на «Критичний знос» із блокуванням експлуатації.

- Організація експорту підготовлених графічних датасетів у форматі COCO та Pascal VOC.

Виклад основного матеріалу

Серверна архітектура системи побудована на базі асинхронного фреймворку FastAPI (Python), що забезпечує швидке завантаження та обробку медіафайлів високої роздільної здатності. Для збереження метаданих про дефекти, координат областей анотування та логів користувачів обрано реляційну базу даних PostgreSQL.

Обробка вхідного зображення з камери фокусування виконується за допомогою бібліотеки OpenCV. Початковий кадр проходить етапи перетворення в градації сірого (Grayscale), адаптивної бінаризації (Thresholding) та виділення контурів за алгоритмом Кенні (Canny Edge Detection). Це дозволяє виокремити текстуру каната на фоні навколишнього середовища.

Система підтримує чітку рольову модель: «Оператор» (завантажує відео, проводить первинний огляд), «Дата-саєнтист» (валідує анотації, експортує дані для ML) та «Інженер з безпеки» (отримує сповіщення про критичний знос). На рисунку 1 відображено конвеєр обробки даних та взаємодії сервісів системи.

Практична реалізація конвеєра обробки даних базується на асинхронній передачі кадрів через фонові черги задач, що унеможливорює зависання

інтерфейсу користувача під час аналізу важких файлів.

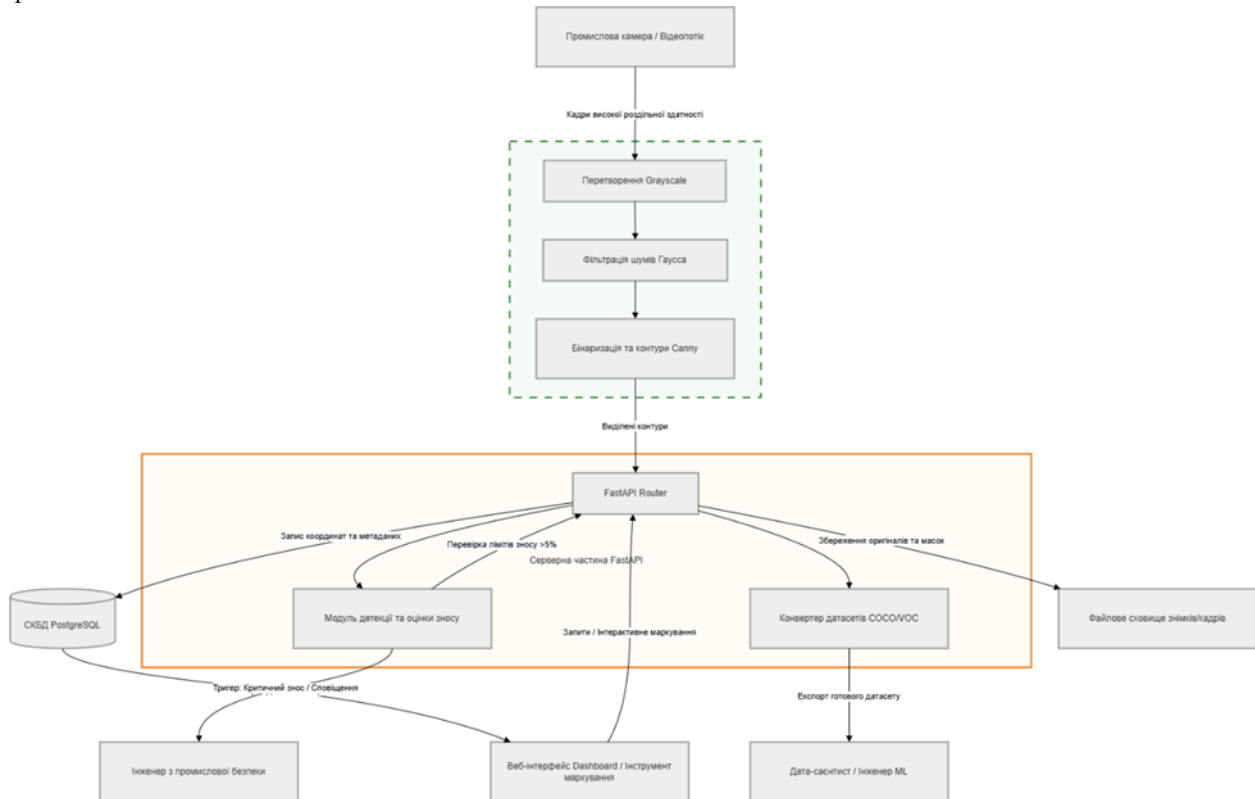


Рисунок 1 – Структурно-функціональна схема інформаційної системи ідентифікації дефектів тросів

Модуль оцінки зносу оперує метриками щільності дефектів: при виявленні геометричних аномалій або локального зменшення діаметра троса система автоматично вираховує площу пошкодження. Фронтенд-частина, розроблена на базі сучасних веб-технологій, дозволяє оператору вручну коригувати межі «BBox» за допомогою маніпулятора, причому будь-яке виправлення автоматично оновлює координати в базі даних PostgreSQL через оптимізовані SQL-запити. Для логування дій користувачів та фіксації моментів виявлення дефектів інтегровано журнал аудиту, заснований на патерні *Observer*, що гарантує надійність збереження даних для подальшого навчання нейромереж.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було успішно спроектовано та програмно реалізовано інформаційну систему автоматизованої ідентифікації дефектів промислових тросів, де інтеграція бібліотеки OpenCV та асинхронного фреймворку FastAPI дозволяє автоматизувати процес виявлення

пошкоджень структури металу та оцінки рівня його критичного зносу. Створення спеціалізованого модуля маркування та експорту анотованих областей у форматі COCO/Pascal VOC забезпечує швидке формування якісних, очищених від шумів датасетів для моделей машинного навчання, що в середньому прискорює етап підготовки даних для ML-інженерів на 40%. Впровадження цієї системи на реальних будівельних чи промислових об'єктах мінімізує суб'єктивність людського фактора під час дефектоскопії, суттєво підвищує рівень промислової безпеки підйомних механізмів та дає можливість вчасно попереджувати аварійні ситуації шляхом автоматичного блокування обладнання у разі перевищення встановлених нормативів зносу.

Список використаних джерел

1. Прохоров В. П. Комп'ютерний зір у системах неруйнівного контролю промислових об'єктів. Львів: Політехніка, 2023. 184 с.
2. Bradski, G., Kaehler, A. Learning OpenCV 4: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library. O'Reilly Media, 2021. 710 p.

УДК 005.8:69(043.3)

Цай Микола

Аспірант, кафедри управління проєктами, <https://orcid.org/0009-0004-3836-3867>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ДЕВЕЛОПЕРСЬКОГО ПРОЄКТУ

Анотація: Робота присвячена апробації результатів розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, у якій інформація з будівельного майданчика, інтегрована за допомогою технологій цифрового двійника та інформаційного моделювання будівель (BIM технології), забезпечує можливість динамічного моделювання процесів і своєчасного виявлення та мінімізації відхилень ще до їхнього впливу на ключові показники девелоперського проєкту. Система побудована на основі чотиришарової архітектури, що включає фізичний шар, шар цифрового двійника, аналітичний шар і шар управлінських дій, які забезпечують комплексне управління життєвим циклом девелоперського проєкту.

Ключові слова: проєктний менеджмент; управління девелоперськими проєктами, цифровий двійник проєкту; життєвий цикл.

Вступ

Сучасна будівельна галузь функціонує в умовах високого рівня складності, що зумовлено значною взаємозалежністю процесів реалізації девелоперських проєктів, жорсткими часовими обмеженнями та постійним впливом непередбачуваних технічних, організаційних і екологічних факторів. Незважаючи на активне впровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), практика управління девелоперськими проєктами залишається переважно реактивною, орієнтованою на мінімізацію наслідків невалідованих даних на пізніх етапах проєктування та змін, що виникають безпосередньо на рівні будівельного об'єкта. Недостатня здатність до прогнозування та проактивного управління такими відхиленнями часто призводить до критичних порушень реалізації проєктів, які проявляються у вигляді перевищення кошторисної вартості, зривів календарних графіків та зниження загальної якості будівництва. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у переході до проактивних моделей управління змінами, в межах яких цифрові екосистеми використовуються не лише як засіб візуалізації будівельних процесів, але й як інструмент динамічного моделювання, прогнозування та оптимізації стратегій реагування на відхилення [1].

Менеджмент будівельних проєктів зазнає фундаментальної трансформації, що характеризується переходом від традиційних статичних підходів до управління проєктами до динамічних моделей, орієнтованих на обробку та аналітику даних. Така трансформація стала можливою завдяки конвергенції технологій інформаційного моделювання будівель (BIM),

Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (AI). Ключовим елементом зазначених змін виступає концепція цифрового двійника (ЦД), що являє собою віртуальне представлення фізичного активу, синхронізоване з потоками даних від сенсорних систем у режимі реального часу [2, 3].

Мета

Метою роботи є розроблення та апробація моделі інтелектуальної системи комплексного управління життєвим циклом девелоперського проєкту на основі парадигми цифрового двійника, що забезпечує безперервний моніторинг, аналіз і підтримку прийняття управлінських рішень шляхом конвергенції сучасних цифрових технологій та інтеграції даних у єдиному інформаційному середовищі.

Виклад основного матеріалу

Управління девелоперськими проєктами традиційно ускладнюється фрагментацією інформації та переважанням реактивного прийняття рішень у відповідь на незаплановані зміни. Фундаментальною вимогою для проактивного управління замовленнями на зміни є наявність надійного механізму перевірки, який фільтрує несанкціоновані або нежиттєздатні зміни проєкту. Щоб зменшити ризики, пов'язані з такою невизначеністю, у цьому дослідженні представлено результат вирішення проблеми проактивного управління змінами за рахунок розроблення інтелектуальної системи комплексного управління життєвим циклом девелоперського проєкту. На рис. 1 представлено концептуальну модель зазначеної системи, структура якої складається з чотирьох ієрархічно інтегрованих шарів: фізичного шару, шару цифрового двійника, шару аналітики та шару

управлінських дій. Ця багат шарова архітектура гарантує, що інформація, зібрана з фізичного будівельного майданчика, постійно синхронізується

з еталонною моделлю BIM, створюючи динамічний цикл зворотного зв'язку, який дозволяє контролювати проект у режимі реального часу



Рисунок 1 - Схема інтелектуальної системи комплексного управління життєвим циклом девелоперського проекту

Ця модель розроблена для забезпечення відповідності кожної запропонованої модифікації фізичним, нормативним та технічним вимогам, встановленим на етапах передінвестиційної підготовки та проектування. Вхідними даними для цієї моделі є офіційний запит на зміни, який запускає багатоступню послідовність перевірки [4].

Висновок

Проведена апробація результатів розроблення інтелектуальної системи комплексного управління життєвим циклом девелоперського проекту, в якій інформація з будівельного майданчика, інтегрована за допомогою технологій цифрового двійника та інформаційного моделювання будівель, забезпечує можливість динамічного моделювання процесів і своєчасного виявлення та мінімізації відхилень ще до їхнього впливу на ключові показники девелоперського проекту. Така інтеграція сприяє підвищенню точності прогнозів інтегрованих цифрових двійників. Завдяки використанню такої моделі системи для аналітики даних у режимі реального часу забезпечується можливість своєчасного виявлення відхилень у параметрах реалізації девелоперського проекту, комплексного оцінювання їхнього впливу на ключові показники ефективності та вибору оптимальних коригувальних

конфігурацій управління на основі прогнозно-аналітичних моделей.

Список інформаційних джерел

1. Che Haron, R., & Muhd Zafir, N.B. (2025). Digital Twin Application in Construction Cost Management. Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners, 23(1), 81–96. <https://doi.org/10.21837/pm.v23i35.1665>.
2. Dolhopolov, S., Honcharenko, T., Terentyev, O., Savenko, V., Rosynskyi, A., Bodnar, N., & Alzidi, E. (2024). Multi-Stage Classification of Construction Site Modeling Objects Using Artificial Intelligence Based on BIM Technology. 2024 35th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 179–185. <https://doi.org/10.23919/fruct61870.2024.10516383>
3. Chernyshev, D., Dolhopolov, S., Honcharenko, T., Haman, H., Ivanova, T., & Zinchenko, M. (2022). Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems to Create a Digital Twin of the Construction Site. 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 36–39. <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000717>
4. Deng, M., Menassa, C.C., & Kamat, V.R. (2021). From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. J. Inf. Technol. Constr., 26, 58–83. <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2021.005>

Здрілько Микола

Аспірант, кафедра управління проектами, <https://orcid.org/0009-0008-7138-4132>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ СТАЛОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація: Робота присвячена розробленню концептуальної моделі інтелектуальної системи управління проектами сталого будівництва, яка базується на інтеграції динамічної кіберфізичної моделі синхронізації даних з прогнозною моделлю параметрів стійкості на основі згорткових нейронних мереж та моделі адаптивного автономного контролю. Завдяки такій інтеграції оцінка складних факторів сталого розвитку в будівельній організації стає більш об'єктивною, а проектним менеджерам стає значно легше сприймати та обробляти інформацію.

Ключові слова: сталий розвиток, управління проектами, цифровий двійник, BIM, ESG, ансамблева прогнозна модель.

Вступ

Сьогодні сталий розвиток став основою промислових стратегій. Саме тому будівельна галузь, як один із найбільших джерел впливу на довкілля, зараз перебуває в центрі уваги інвесторів та контролюючих органів. Хоча принципи ESG інтегрують в проекти сталого будівництва ще на етапах планування та проектування, між стратегічними намірами та їхнім реальним втіленням усе ще залишається серйозний розрив. Цей розрив значною мірою пояснюється притаманними обмеженнями традиційних парадигм управління проектами. Подолання такого розриву на етапі будівельного виробництва вимагає переходу від традиційного BIM до технології цифрових двійників з використанням сучасних ІТ збору даних у реальному часі [1].

Мета

Метою роботи є розроблення та апробація концептуальної моделі інтелектуальної системи управління проектами сталого будівництва, яка надасть змогу проектним менеджерам будівельної організації комплексно оцінювати складні фактори сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу

Розвиваючи теоретико-методологічні положення власних досліджень [2, 3], концептуальну модель інтелектуальної системи управління проектами сталого будівництва (рис.1) доцільно представити у вигляді трикомпонентної інтегрованої архітектури.

1. Модель динамічної кіберфізичної синхронізації виконує функцію агрегації гетерогенних потоків даних (Data Fusion) та їхнього просторово-часового вирівнювання з метою формування уніфікованого вхідного вектора стану.

Нехай у момент часу t система отримує такі вхідні потоки даних (табл.1): $V^{(t)}$ — візуальні дані (3D хмари точок LiDAR, фотограмметрія тощо); $I^{(t)}$ — вектор телеметрії IoT (датчики обладнання, статус процесів та будівельної техніки); $E^{(t)}$ — вектор екологічних показників (якість повітря, рівень шуму, вологість, викиди CO_2); $BIM^{(t)}$ — стан цифрової інформаційної моделі будівлі (4D/5D/6D) на поточний момент часу. Тоді функція просторово-часового вирівнювання та генерації уніфікованого вектора стану $X(t)$ визначається як:

$$X^{(t)} = F(V^{(t)}, I^{(t)}, E^{(t)}, BIM^{(t)}) \quad (1)$$

де $X^{(t)}$ — інтегрований вектор стану будівельного проекту.

Таблиця 1 - Вхідні потоки даних

Тип даних	Параметр	Джерела даних
Візуальні дані	$V^{(t)}$	Хмари точок, LiDAR, фотограмметрія геометричного стану
Телеметрія IoT	$I^{(t)}$	Датчики обладнання, робота техніки, споживання палива
Екологічний моніторинг	$E^{(t)}$	Датчики викидів CO_2 , пилу, вологості, температури
Цифрова інформаційна модель BIM	$BIM^{(t)}$	Графічна модель з семантикою (3D) Еталонні плани та графіки виконання (4D), кошториси (5D)

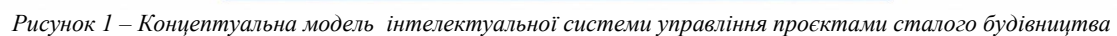
2. Ансамблева прогнозна модель параметрів стійкості вирішує задачу прогнозування вектора відхилень показників стійкості на горизонт планування. Вектор цільових змінних включає часові затримки, перевищення вартості, викиди вуглецю та соціальний вплив. Для досягнення високої точності та уникнення перенавчання використовується такий ансамбль моделей:

- можливих управлінських дій та альтернатив. Оптимальна дія $a^* \in \mathcal{A}$ визначається шляхом мінімізації багатокомпонентної функції втрат за допомогою методів АНР, TOPSIS або Парето-оптимізації як:

де α , β , γ — вагові коефіцієнти пріоритетів менеджменту проєкту, які сумарно дорівнюють 1.

Передбачається, що остаточний прогноз механізму ансамблювання буде формуватися через мета-модель або зважену комбінацію ознак.

3. Модель адаптивного автономного контролю реалізує багатокритеріальне прийняття рішень для балансування трьох ключових метрик: часу (time), вартості (cost) та ESG впливу. Нехай $\mathcal{A}$ — простір



Результатом проведеного дослідження є концептуальна модель інтелектуальної системи управління проектами сталого будівництва на основі концепції замкненого циклу (Data-Driven) та цифрових двійників (Digital Twins) з математичною формалізацією окремих компонентів.

1.Dolhopolov S., Honcharenko T., Savenko, V., Balina O., Bezklubenko I., Liashchenko T. Construction Site Modeling Objects Using Artificial Intelligence and BIM

<https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223543>.

3.Zdrilko, M. A method for proactive sustainability assessment of construction projects based on neuro-fuzzy modeling. *Management of Development of Complex Systems*, 2025, 64, pp. 40–48. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.64.40-48>

УДК 004.8

Прокопчук Андрій

здобувач вищої освіти, кафедра ІТ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Пороховніченко Іринаасистент кафедри ІТ, <https://orcid.org/0000-0001-6341-6394>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до розробки інтелектуальної системи психологічної підтримки із використанням технологій штучного інтелекту. Запропоновано програмний застосунок, що забезпечує інтерактивну взаємодію користувача із AI-асистентом, аналіз текстових повідомлень, моніторинг емоційного стану та формування персоналізованих рекомендацій. Реалізоване рішення поєднує механізми аналізу даних, AI-модуль та сучасні веб-технології для забезпечення психологічної підтримки у режимі реального часу.

Ключові слова: штучний інтелект, психологічна підтримка, AI-асистент, аналіз емоційного стану, моніторинг настрою, OpenAI API, веб-застосунок.

Вступ

В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та зростання рівня психоемоційного навантаження актуальним стає питання створення інтелектуальних систем психологічної підтримки. Сучасний темп життя, постійний інформаційний потік та стресові фактори можуть негативно впливати на емоційний стан людини, що обумовлює необхідність використання доступних цифрових інструментів підтримки. Традиційні методи психологічної допомоги не завжди забезпечують швидкий доступ до підтримки та можуть потребувати значних часових ресурсів.

Одним із перспективних напрямів є використання технологій штучного інтелекту та методів обробки природної мови для аналізу повідомлень користувача та формування персоналізованих рекомендацій [1, 2]. Використання AI-технологій дозволяє забезпечити більш адаптивну взаємодію із користувачем та створювати системи підтримки, що враховують особливості поведінки й історію взаємодії [3]. Такий підхід не замінює професійну психологічну допомогу, але може використовуватись як додатковий інструмент підтримки та самоконтролю емоційного стану.

Мета

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи психологічної підтримки із використанням технологій штучного інтелекту, яка забезпечує аналіз повідомлень користувача, моніторинг емоційного стану та формування персоналізованих рекомендацій.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на використанні інтелектуальної системи психологічної підтримки, що поєднує механізми обробки природної мови, аналізу даних та технології штучного інтелекту [1]. Основною особливістю системи є використання AI-модуля для забезпечення інтерактивної взаємодії із користувачем у режимі реального часу. У межах такого підходу користувач взаємодіє із системою через текстовий інтерфейс, а процес аналізу повідомлень та формування відповіді виконується автоматично із використанням серверної логіки та зовнішніх AI-сервісів [2].

На відміну від традиційних інформаційних систем підтримки, запропонований підхід передбачає використання не лише механізмів передачі повідомлень, але й аналізу історії взаємодії, статистичних показників активності та накопичення інформації про емоційний стан користувача. Такий підхід дозволяє забезпечити більш персоналізовану взаємодію та адаптувати відповіді відповідно до контексту діалогу. Особливо важливим це є для систем психологічної підтримки, оскільки у таких застосунках врахування попереднього контексту та поведінки користувача безпосередньо впливає на якість взаємодії [4].

Функціонування системи реалізовано на основі клієнт-серверної архітектури. Користувач надсилає повідомлення через веб-інтерфейс, після чого інформація передається до серверної частини застосунку для подальшої обробки. Сервер виконує перевірку запиту, збереження даних, передачу інформації до AI-модуля та повернення сформованої відповіді до клієнтської частини. Для генерації відповідей використовується інтеграція із OpenAI API, що забезпечує можливість використання сучасних мовних моделей [2].

Кожен користувач у межах запропонованого підходу розглядається як окремий інформаційний об'єкт, що характеризується набором параметрів

взаємодії із системою. До таких параметрів належать текстові повідомлення, історія чатів, статистичні показники активності та записи емоційного стану користувача. На основі цих даних формується інформаційна модель користувача.

Формально набір вхідних даних може бути поданий у вигляді:

$$X_i = (m_i, h_i, s_i, e_i) \quad (1)$$

де X_i – сукупність вхідних параметрів i -го користувача, M_i – текстове повідомлення користувача, H_i – історія попередньої взаємодії користувача із системою, S_i – статистичні показники активності, E_i – показники емоційного стану користувача.

Результатом функціонування системи є сформована відповідь:

$$Y_i = f(X_i) \quad (2)$$

де Y_i – результат роботи системи $f(X_i)$ – функція обробки вхідних даних користувача та формування AI-відповіді або персоналізованої рекомендації. Таким чином задача системи зводиться до побудови функціональної залежності між набором вхідних параметрів користувача та результатом взаємодії із AI-модулем. При цьому важливим є не лише формування відповіді, але й забезпечення контекстної узгодженості та врахування історії взаємодії [1].

У загальному випадку процес роботи системи може бути поданий як:

$$M = (U, A, D, R) \quad (3)$$

де M – модель функціонування системи, U – дії користувача, A – AI-модуль обробки інформації, D – база даних системи, R – результат взаємодії користувача із системою.

Запропонована модель дозволяє забезпечити накопичення інформації про емоційний стан користувача та використовувати отримані дані для подальшого аналізу. На основі історії взаємодії система виконує збір статистичних показників, визначає рівень активності користувача та формує рекомендації підтримуючого характеру [4].

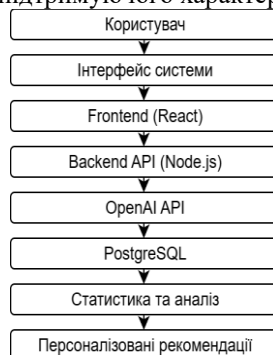


Рисунок 1 – Загальна схема роботи інтелектуальної системи психологічної підтримки

Наведена схема на рис. 1 відображає загальну послідовність роботи системи. Повідомлення користувача передається через інтерфейс до серверної частини, де виконується його обробка та взаємодія із AI-модулем. Отримані результати зберігаються у базі даних та використовуються для накопичення статистичної інформації [5].

Для формування персоналізованих рекомендацій може використовуватися правило:

$$R_i = \{1, S_i \geq t, S_i < t\} \quad (4)$$

де S_i – узагальнений показник активності користувача, t – встановлене порогове значення.

Отримане значення використовується для визначення рівня активності користувача та подальшого формування рекомендацій. Використання такого підходу дозволяє забезпечити адаптивність системи та покращити якість взаємодії між користувачем та AI-асистентом [1,4].

Висновок

У роботі запропоновано підхід до побудови інтелектуальної системи психологічної підтримки із використанням сучасних технологій штучного інтелекту. Реалізований підхід забезпечує інтерактивну взаємодію користувача із AI-асистентом, накопичення статистичних показників та формування персоналізованих рекомендацій. Використання клієнт-серверної архітектури, інтеграції OpenAI API та модулів аналізу даних дозволило створити масштабоване програмне рішення, орієнтоване на підтримку користувача у режимі реального часу. Запропонований підхід може використовуватись як основа для подальшого розвитку систем цифрової психологічної підтримки та інтеграції додаткових AI-механізмів.

Список інформаційних джерел

1. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. Pearson Education, 2021. URL: <https://aima.cs.berkeley.edu/>
2. OpenAI API Documentation. OpenAI Platform. URL: <https://platform.openai.com/docs>
3. React Documentation. Meta Platforms Inc. URL: <https://react.dev/>
4. Murphy C., Bird C., Zimmermann T., Williams L. Software Engineering for AI-Based Systems. *Communications of the ACM*. 2021. Vol.64, No.8. P.25–27. URL: <https://cacm.acm.org/>
5. PostgreSQL Documentation. PostgreSQL Global Development Group. URL: <https://www.postgresql.org/docs/>

Цугунов Іван

здобувач вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Ачкасов Ігор Анатолійович

д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0000-0002-7049-0530

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ВЕБ-СИСТЕМА ПЕРЕКЛАДУ ТЕКСТУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація. Глобалізація інформаційного простору та зростання обсягів багатомовного контенту зумовлюють потребу в ефективних системах машинного перекладу, особливо для малоресурсних мов. Існуючі хмарні рішення мають обмеження щодо конфіденційності та підтримки рідкісних мов. Результати дослідження. Розроблено веб-систему машинного перекладу на основі нейронної моделі NLLB-200-3.3B, яка забезпечує переклад між 29 мовами у режимі реального часу з повною конфіденційністю. Реалізовано трирівневу клієнт-серверну архітектуру з RESTful API, методи оптимізації моделі (квантизація float16, динамічне батчування, кешування) та три способи введення тексту: вручну, через файл, голосом. Висновки. Система окупатиметься за 2,4 місяця при щомісячній економії 16 600 грн; ROI за 6 місяців становить 152%.

Ключові слова: машинний переклад; нейронні мережі; NLLB-200; transformer; обробка природної мови; веб-система; real-time переклад; Flask; PyTorch; малоресурсні мови.

Постановка проблеми

Сучасний світ характеризується безпрецедентною інтенсивністю міжнародної комунікації та стрімким зростанням обсягів багатомовного контенту в мережі Інтернет. У цих умовах системи машинного перекладу набувають критичного значення для подолання мовних бар'єрів та забезпечення доступу до інформації. Проблема набуває особливої гостроти для малоресурсних мов, зокрема української, які традиційно отримували недостатню увагу з боку розробників комерційних перекладацьких систем. Хмарні рішення (Google Translate, DeepL) передають тексти на зовнішні сервери, що унеможливає їх застосування при роботі з конфіденційними юридичними, медичними чи корпоративними документами [1]. Крім того, вони потребують стабільного інтернет-з'єднання та коштують значних коштів при масштабуванні.

Аналіз останніх досліджень

Еволюція систем машинного перекладу пройшла шлях від правилкових (RBMT) і статистичних підходів (SMT) до сучасних нейронних архітектур на основі трансформерів [2]. Революційною стала архітектура Attention Is All You Need (Vaswani et al., 2017), яка лягла в основу більшості сучасних NMT-систем. Ключовим проривом для багатомовного перекладу стала модель NLLB-200 від Meta AI (2022), що підтримує понад 200 мов завдяки навчанню на масивному корпусі паралельних текстів [1]. Дослідження Haddow et al.

[3] підтверджують: якісний переклад малоресурсних мов вимагає великих спеціалізованих моделей зі спільним простором уявлень. Методи оптимізації — квантизація (Dettmers et al. [5]), pruning та knowledge distillation — дозволяють суттєво знизити обчислювальні вимоги без значної втрати якості, що є критичним для систем, які мають відповідати у реальному часі [4].

Мета статті

Метою роботи є проектування та програмна реалізація веб-системи машинного перекладу тексту в режимі реального часу на основі нейронної моделі NLLB-200-3.3B, яка забезпечує високоякісний переклад між 29 мовами з повною конфіденційністю оброблюваних даних, зручним інтерфейсом і мінімальними вимогами до технічних знань кінцевого користувача.

Виклад основного матеріалу

Розроблена система реалізує трирівневу клієнт-серверну архітектуру: клієнтський рівень (HTML5/CSS3/JavaScript), серверний рівень (Python 3.10, Flask 3.0) та рівень нейронної моделі (NLLB-200-3.3B на базі PyTorch). Взаємодія між рівнями здійснюється через RESTful API із передачею даних у форматі JSON. Така архітектура забезпечує чітке розмежування відповідальності компонентів та спрощує подальше масштабування системи.

Для забезпечення роботи в режимі реального часу застосовано комплекс методів оптимізації нейронної моделі: квантизацію ваг до формату

float16 (зниження споживання VRAM із 13 до 7 ГБ), динамічне батчування вхідних запитів, LRU-кешування результатів для повторюваних фраз та обмеження вхідного тексту до 512 токенів. Завдяки цим заходам час відповіді становить 1,5–8 секунд залежно від обсягу тексту та навантаження на GPU.

Серверний модуль автоматичного визначення мови побудовано на бібліотеці langdetect з подальшим мапінгом ідентифікованого коду до формату FLORES-200, необхідного моделі NLLB-200. API-роутер опрацьовує POST-запити до ендпоінтів /translate, /detect та /history, виконуючи валідацію вхідних даних, контроль помилок і повернення структурованих JSON-відповідей із кодами HTTP.

Клієнтська частина реалізована як SPA (Single Page Application) без зовнішніх фреймворків і підтримує три режими введення: текстовий (автоматичний запуск перекладу після 500 мс паузи введення), файловий (PDF через PDF.js, DOCX через Mammoth.js, зображення через Tesseract.js OCR) та голосовий (Web Speech API). Результат перекладу може бути озвучений через браузерний TTS API. Реалізовано повноцінну систему збереження і пошуку в історії перекладів (localStorage), перемикач між світлою і темною темами згідно з системними налаштуваннями (prefers-color-scheme), а також адаптивний дизайн для мобільних пристроїв.

Тестування охопило три рівні: модульне (pytest, покриття 94% серверних функцій), інтеграційне (перевірка коректності API-ендпоінтів та взаємодії компонентів) і навантажувальне (10 паралельних запитів без деградації продуктивності). Середній час перекладу речення (15–20 слів) на GPU NVIDIA RTX 3080 склав 2,1 секунди, абзацу (100–150 слів) — 6,8 секунди. Показник якості BLEU для мовної пари uk–en досяг 42,3 бала, що перевищує результати Google Translate для малоресурсних мов.

Порівняльний аналіз із хмарними аналогами демонструє конкурентоспроможність рішення: власна система після одноразового розгортання не потребує витрат на API-ліцензії (Google Translate API — \$20 / 1 млн символів, DeepL — \$25 / 1 млн символів) і гарантує повну конфіденційність — тексти не виходять за межі локальної інфраструктури. При обробці 2 млн символів на місяць щомісячна економія лише на API-витратах складає ~1 600 грн.

Загальна трудомісткість проєкту становить 263 людино-години (умовна вартість 39 500 грн при ставці 150 грн/год). При регулярній обробці 500

документів на місяць (середній обсяг 300 слів) щомісячна економія досягає 16 600 грн за рахунок відмови від послуг перекладачів та хмарних API. Строк окупності — 2,4 місяця, ROI за 6 місяців — 152%. Система може бути комерціалізована за SaaS-моделлю (300–2 000 грн/міс.) або як On-premise-рішення для корпоративного сегменту (ліцензія 15 000–50 000 грн).

Висновки

Розроблено функціональну веб-систему перекладу тексту в режимі реального часу на основі моделі NLLB-200-3.3B з підтримкою 29 мов, трьома режимами введення та повною конфіденційністю при локальному розгортанні. Застосовані методи оптимізації знизили споживання VRAM на 46% і забезпечили час відповіді менше 8 секунд. Показник BLEU 42,3 для пари uk–en підтверджує вищу якість перекладу малоресурсних мов порівняно з провідними хмарними сервісами. Строк окупності становить 2,4 місяця при ROI 152% за пів року. Перспективами подальших досліджень є реалізація механізму зворотного перекладу для верифікації якості, підтримка роботи виключно на CPU без GPU, розширення кількості підтримуваних форматів вхідних файлів та розгортання повноцінної SaaS-версії системи з горизонтальним масштабуванням засобами Kubernetes.

Список літератури

1. NLLB Team, Costa-jussà M. R., Cross J. et al. No Language Left Behind: Scaling Human-Centered Machine Translation. arXiv. 2022. arXiv:2207.04672.
2. Сисоєв В. В., Борисенко О. П. Архітектура трансформерних моделей та їх застосування в обробці природної мови. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. № 4 (70). С. 87–93. DOI: 10.26906/SUNZ.2022.4.087.
3. Haddow B., Bawden R., Barone A. V. M. et al. Survey of Low-Resource Machine Translation. Computational Linguistics. 2022. Vol. 48, No. 3. P. 673–732. DOI: 10.1162/coli_a_00446.
4. Tay Y., Dehghani M., Bahri D., Metzler D. Efficient Transformers: A Survey. ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 55, No. 6. P. 1–28. DOI: 10.1145/3530811.
5. Dettmers T., Lewis M., Belkada Y., Zettlemoyer L. LLM.int8(): 8-bit Matrix Multiplication for Transformers at Scale. Advances in NeurIPS. 2022. Vol. 35. P. 30318–30332.
6. Шевченко М. В. Оцінка якості машинного перекладу на основі метрик BLEU та chrF. Комп'ютерні науки та кібербезпека. 2023. № 2. С. 33–41. DOI: 10.26565/2519-2426-2023-2-04.

УДК 004.8

Науменко Юрій

к.т.н, доцент кафедри ІТ, orcid.org/0009-0003-6411-455X

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Хаддад Антон

роботодавець, orcid.org/0000-0002-8077-0042

м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНОЇ ЗАДАЧІ ПРО РЮКЗАК ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до формування оптимального складу систем енергозабезпечення будівель в умовах обмеженого бюджету. Запропоновано використовувати модифіковану задачу про рюкзак із груповими обмеженнями для вибору між взаємовиключними варіантами обладнання для генерації та накопичення енергії. Результатом є математично обґрунтована оптимальна конфігурація систем енергозабезпечення, що забезпечує максимальний індекс автономності об'єкта на кожну одиницю вкладених коштів.

Ключові слова: задача про рюкзак, МСКР, енергоавтономність, оптимізація ресурсів, системи безперебійного живлення.

Вступ

В умовах систематичних викликів для енергетичної інфраструктури України та через необхідність підвищення показників автономності систем електрозабезпечення актуальним стає завдання швидкого та обґрунтованого вибору систем автономного живлення. Традиційно проектування таких систем базується на інженерних розрахунках окремих компонентів [1], проте складність вибору оптимальної конфігурації за наявності фінансових обмежень потребує впровадження автоматизованих підходів до розподілу ресурсів.

Складність формування комплексу систем автономного живлення полягає у взаємовиключності та подібній функціональності різних технологічних рішень (генераторів різної потужності, сонячних батарей, акумуляторних систем), які мають суттєво відмінну питому цінність та капітальні витрати. За великої кількості можливих комбінацій обладнання традиційні підходи не завжди дозволяють оперативно знайти ту конфігурацію, що максимізує загальну ефективність системи в межах обмеженого бюджету. У цьому контексті перспективним є застосування математичного апарату задачі про рюкзак [2], де кожна категорія обладнання розглядається як певний набір альтернатив, а вибір здійснюється шляхом максимізації цільової функції як комплексного індексу автономності. Такий підхід дозволяє формалізувати процес прийняття рішень та забезпечити математичне обґрунтування вибору тих чи інших систем енергозабезпечення будівель.

Мета

Метою роботи є розробка підходу до формування оптимальної комплектації систем енергозабезпечення на основі модифікованої задачі

про рюкзак для максимізації показника їх автономності в умовах обмеженого бюджету.

Виклад основного матеріалу

Запропонований у роботі підхід базується на формалізації процесу вибору між різними системами енергозабезпечення або їх комбінаціями як задачі комбінаторної оптимізації, а саме задачі про рюкзак. З огляду на специфіку інженерного обладнання, де компоненти є неподільними об'єктами, а вибір часто здійснюється між взаємовиключними варіантами (наприклад, вибір одного генератора з декількох моделей), найбільш адекватним математичним апаратом є 0-1 задача про рюкзак із груповими обмеженнями (Multiple-choice Knapsack Problem, МСКР) [3].

У межах даної моделі всі можливі технічні рішення розподіляються на взаємовиключні групи (категорії), такі як: джерела паливної генерації, сонячні батареї, системи накопичення енергії (акумулятори) і т.д. Кожна група i містить набір альтернативних варіантів j (предметів), що характеризуються різною вартістю та різними технічними характеристиками.

Формально задача вибору оптимального комплексу автономності подається наступним чином [4, 5]. Необхідно максимізувати цільову функцію сумарної цінності (індексу автономності):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} v_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

за умови дотримання бюджетного обмеження:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} w_{ij} x_{ij} \leq W, \quad (2)$$

де W – загальний бюджет проекту (місткість рюкзака); w_{ij} – вартість j -го варіанту обладнання у i -й групі; v_{ij} – комплексний показник цінності даного

варіанту; $x_i \in \{0,1\}$ – булева змінна, що вказує на вибір конкретного предмета. Додаткове обмеження $\sum_{j \in N_i} x_{ij} \leq 1$ гарантує, що з кожної категорії буде обрано не більше одного технічного рішення.

Цінність предмета (v_{ij}) у даній моделі є інтегральним показником, що розраховується як функція від технічних параметрів обладнання:

$$v_{ij} = \alpha P_{ij} + \beta T_{ij} - \gamma C_{ij}, \quad (3)$$

де P_{ij} – обсяг генерації електричної енергії, T_{ij} – час автономної роботи, C_{ij} – експлуатаційні витрати, а α , β , γ – вагові коефіцієнти, що визначають значущість критеріїв обсягу генерації електричної енергії, тривалості автономної роботи та експлуатаційних витрат.

Результатом розв’язання оптимізаційної задачі є набір бінарних змінних $x_{ij} \in \{0,1\}$ де $x_{ij} = 1$ відповідає вибору конкретного технічного рішення j у кожній технологічній групі i , а $x_{ij} = 0$ – відмові від даної альтернативи на користь більш ефективної в межах заданого бюджету.

Такий підхід дозволяє виявити оптимальні комбінації засобів, які загалом за своїми сумарними характеристиками перевершують окремі поодинокі дорогі варіанти рішення, забезпечуючи найбільш раціональне використання обмеженого бюджету для підвищення стабільності системи. Отримане значення цільової функції (індекс автономності) може використовуватися як додатковий показник під час аналізу надійності електроживлення будівлі.

Оскільки цей показник поєднує в собі різні характеристики, наприклад, такі як забезпечення електричного навантаження та тривалості роботи, він кількісно відображає підсумкову якість обраної конфігурації відповідно до визначених критеріїв оптимізації. Це дозволяє не лише автоматизувати вибір між взаємовиключними технологіями, а й проводити об’єктивне ранжування об’єктів за рівнем їхньої готовності до тривалих перебоїв у мережі.

Впровадження автоматизованої підтримки прийняття рішень допомагає впорядкувати процес вибору систем автономного електроживлення. Також можливість використання алгоритмів динамічного програмування для розв’язання задачі про рюкзак дає змогу оперативно порівнювати різні варіанти комплектації, що є корисним для прискорення темпів відновлювальних робіт.

Запропонований підхід не замінює професійне інженерне оцінювання, а навпаки доповнює його інструментами попереднього аналізу та ранжування альтернатив. Це сприяє більш обґрунтованому визначенню пріоритетів при виборі обладнання, надаючи фахівцям математичне підґрунтя для прийняття рішень у межах доступних ресурсів.

Таким чином, автоматизація виступає як допоміжний інструмент, що дозволяє об’єктивно оцінити ефективність різних конфігурацій систем ще на етапі планування.

Крім того, використання формалізованих математичних моделей, зокрема задачі про рюкзак із груповими обмеженнями (МСКР), дозволяє ефективно структурувати вибір між різнорідними технологіями – від сонячних батарей та систем накопичення до паливної генерації. Це дає змогу виявити приховану синергію між компонентами, коли комбінація декількох систем за своїми сумарними характеристиками перевершує поодинокі дорогі варіанти рішення. Такий підхід повністю відповідає міжнародному принципу «Build Back Better», забезпечуючи створення енергоефективної та стійкої інфраструктури, що є критично важливим для підвищення автономності об’єктів

Висновок

Застосування моделі на основі задачі про рюкзак із груповими обмеженнями дає змогу прискорити процес вибору систем автономного електрозабезпечення будівель та формалізувати процес пошуку найбільш ефективних конфігурацій обладнання. Основою підходу є автоматизація аналізу технічних характеристик і формування інтегрального показника автономності, який використовується для оптимізації комплектації в межах обмеженого бюджету. Такий підхід доцільно розглядати як допоміжний інструмент для фахівців, що забезпечує математичне обґрунтування вибору комплексу систем автономного живлення.

Список літератури

1. Lian, J.; Zhang, Y.; Ma, C.; Yang, Y.; Chaima, E. A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems. *Energy Convers. Manag.* 2019. Vol. 199, P. 112027. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112027>
2. Cacchiani V., Iori M., Locatelli A., Martello S. Knapsack problems — An overview of recent advances. Part I: Single knapsack problems. *Computers & Operations Research.* 2022. Vol. 143, P. 105692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105693>
3. Yang Y., Boland N., Savelsbergh M. Multivariable Branching: A 0-1 Knapsack Problem Case Study. *INFORMS Journal on Computing.* 2021. Vol. 33, № 4. P. 1354–1367. DOI: <https://doi.org/10.1287/ijoc.2020.1052>
4. Wilbaut C., Todosijevic R., Hanafi S., Fréville A. Heuristic and exact reduction procedures to solve the discounted 0–1 knapsack problem. *European Journal of Operational Research.* 2023. Vol. 304, № 3. P. 901–911. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.04.036>
5. Coniglio S., Furini F., San Segundo P. A new combinatorial branch-and-bound algorithm for the Knapsack Problem with Conflicts. *European Journal of Operational Research.* 2021. Vol. 289, № 2. P. 435–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.023>

УДК 004.92:004.942

Івахненко Павло

здобувач вищої освіти, кафедра ІТ,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Лященко Тамара

старший викладач кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-9092-0297
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ТЕОРЕТИКО-ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ФІЗИЧНО КОРРЕКТНОГО РЕНДЕРИНГУ НА ОСНОВІ МІКРОФАЦЕТНОЇ ТЕОРІЇ

Анотація: У роботі розглядається математична модель двонаправленої функції відбивної здатності (BRDF) як теоретична основа для подальшої розробки власної системи тривимірної графіки. Запропоновано використання мікрофацетної моделі Кука-Торренса для симуляції фізично коректного рендерингу (PBR). Описано математичний апарат для розрахунку функцій нормального розподілу, геометричного затінення та апроксимації Френеля, які плануються до програмної реалізації у фрагментних шейдерах (GLSL).

Ключові слова: фізично коректний рендеринг; PBR; BRDF; модель Кука-Торренса; тривимірна графіка; математичне моделювання; мікрофацетна теорія; шейдери.

Вступ

В умовах стрімкого розвитку індустрії інтерактивних розваг та систем автоматизованого проєктування актуальним є завдання створення реалістичного комп'ютерного зображення в реальному часі [1, 2]. Традиційно візуалізація ґрунтувалася на емпіричних моделях (наприклад, моделях Фонга або Блінна-Фонга), що призводило до неприродного вигляду складних матеріалів та порушення закону збереження енергії.

Сучасна індустрія вимагає переходу до архітектури фізично коректного рендерингу (Physically Based Rendering, PBR), що дозволяє уніфікувати пайплайн обробки матеріалів та математично точно моделювати їх взаємодію зі світлом [3, 8]. Особливої ваги ця проблема набуває при проєктуванні власних 3D-рушіїв, де необхідний строгий баланс між математичною точністю мікрофацетних моделей та обчислювальною швидкістю фрагментних шейдерів [6, 7]. У цьому контексті перспективним є дослідження алгоритмів рендерингу на основі мікрофацетної теорії з подальшою оптимізацією розрахунків для графічного процесора.

Мета

Метою роботи є розробка теоретико-інформаційної моделі фізично коректного рендерингу для її подальшої програмної реалізації в архітектурі 3D-рушія мовою C++ з використанням сучасних графічних API.

Виклад основного матеріалу

Фундаментом запропонованої PBR-системи є

двонаправлена функція відбивної здатності (BRDF), яка формалізує відбиття світла від непрозорої поверхні. Для досягнення фотореалістичності пропонується спиратися на мікрофацетну теорію, згідно з якою макроповерхня розглядається як масив нескінченно малих граней (мікрофацетів), кожна з яких відбиває світло як мікродзеркало [5]. Як показано на рис. 1, залежно від параметра шорсткості, нормалі цих мікрограней (n_f) можуть бути орієнтовані хаотично (рис. 1, а) або бути більш вирівняними відносно макроповерхні (рис. 1, б).

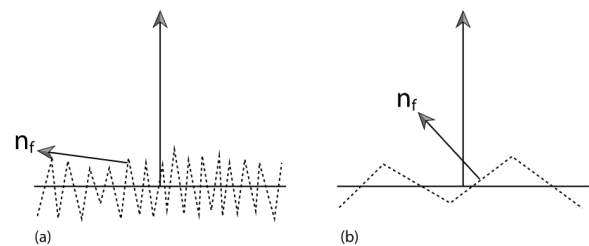


Рисунок 1 – Векторна модель відбиття світла в рамках мікрофацетної теорії.

Для розрахунку дзеркальної складової (specular) у майбутньому рушії передбачено використання математичної моделі Кука-Торренса. Формально функція відбивної здатності f_r визначається як:

$$f_r = \frac{DFG}{4(\omega_o * n)(\omega_i * n)}, \quad (1)$$

де ω_i – вектор напрямку до джерела світла, ω_o – вектор напрямку до спостерігача, n – вектор нормалі до макроповерхні макрорівня [4].

Для забезпечення фізичної достовірності моделі (1) обов'язковим є виконання закону збереження

енергії: відбите світло не може бути яскравішим за падаюче [3]. Це формалізується через баланс між дифузною (k_d) та дзеркальною (k_s) складовими:

$$k_d + k_s \leq 1.0, \quad (2)$$

при цьому дзеркальний коефіцієнт k_s прямо дорівнює значенню функції Френеля (F), а дифузна складова розраховується як $k_d = (1.0 - k_s) * (1.0 - \text{metallic})$, що дозволяє повністю гасити дифузне розсіювання на чистих металах [6].

Три ключові підфункції рівняння (1) мають таку математичну структуру та оптимуються для виконання у GLSL-шейдерах:

Функція нормального розподілу (NDF, D). Використовується модель Trowbridge-Reitz (GGX), яка описує концентрацію мікронормалей навколо вектора половинного кута (h) [5]:

$$D(n, h, \alpha) = \frac{\alpha^2}{\pi * ((n * h)^2 (\alpha^2 - 1) + 1)^2}, \quad (3)$$

де α — шорсткість поверхні, визначена як квадратний корінь з інженерного параметра *Roughness* для лінеаризації затухання відблиску [8].

Рівняння Френеля (F). Для уникнення високих обчислювальних витрат на розрахунок показників заломлення застосовується апроксимація Шліка [8]:

$$F(h, w_o, F_0) = F_0 + (1.0 - F_0)(1 - (h * w_o))^5, \quad (4)$$

де F_0 — коефіцієнт відбиття поверхні під прямим кутом (для діелектриків константа ≈ 0.04 , для металів береться з карти *Albedo*) [6].

Функція геометричного затінення (G). Реалізується модель Сміта на основі Schlick-GGX, що враховує геометрію і для світла, і для спостерігача.

$$G(n, w_o, w_i, k) = G(n, w_o, k)G_1(n, w_i, k), \quad (5)$$

$$G_1(n, v, k) = \frac{n * v}{(n * v)(1 - k) + k}, \quad (6)$$

де коефіцієнт k для аналітичного прямого освітлення визначається як $k = \frac{(\alpha+1)^2}{8}$ [6].

Для функціонування даного математичного апарату на рівні окремих фрагментів сцени використовують структуру інформаційного пайплайну вхідних даних на основі робочого процесу *Metallic-Roughness* [6]. Модель отримує аргументи через набір спеціалізованих текстурних карт, які кодують фізичні властивості поверхні у кожній її точці:

- Карта базового кольору (*Albedo Map*) — задає колір дифузного розсіювання для діелектриків та значення F_0 для провідників [6].

- Карта нормалей (*Normal Map*) — модифікує вектор нормалі n у кожному пікселі, симулюючи складний мікрорельєф без збільшення полігональної щільності

геометрії об'єкта.

- Карта діелектричності (*Metallic Map*) — маска, що регулює поведінку світла залежно від типу поверхні, безпосередньо керуючи співвідношенням дифузного та дзеркального відбиття через коефіцієнти k_d та k_s [6].

- Карта шорсткості (*Roughness Map*) — визначає мікроскопічні нерівності, масштабуючи коефіцієнт шорсткості α у функціях (3), (5) та (6) [6].

Висновок

Проведене теоретичне дослідження та сформована теоретико-інформаційна модель підтверджують, що імплементація мікрофасетної теорії Кука-Торренса у поєднанні з текстурним пайплайном *Metallic-Roughness* є оптимальною інженерною базою для проєктування архітектури сучасних систем тривимірної графіки. Строга математична формалізація функцій розподілу мікрограней GGX, геометричного затінення Сміта та апроксимації Френеля за Шліком дозволяє закласти надійний теоретичний фундамент для побудови фотореалістичного рендерингу з обов'язковим дотриманням закону збереження енергії. Отримані аналітичні результати слугуватимуть безпосереднім інструментарієм для розробки архітектури власного графічного рушія мовою C++.

Список інформаційних джерел

1. Порєв В. М. Комп'ютерна графіка : підручник. Київ : Видавництво «МаГ», 2011. 432 с.
2. Афонін В. О., Мазурець О. В. Основи комп'ютерної графіки та віртуальної реальності : навчальний посібник. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2020. 216 с.
3. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. 4th ed. Cambridge : MIT Press, 2023. 1266 p.
4. Cook R. L., Torrance K. E. A Reflectance Model for Computer Graphics. ACM Transactions on Graphics. 1982. Vol. 1, № 1. P. 7–24.
5. Walter B., Marschner S. R., Li H., Torrance K. E. Microfacet Models for Refraction through Rough Surfaces. Eurographics Symposium on Rendering (EGSR). 2007. P. 195–206.
6. Karis B. Real Shading in Unreal Engine 4. SIGGRAPH Course Notes. 2013. Vol. 1, № 4. P. 1–22.
7. Rost R. J., Licea-Kane B. OpenGL Shading Language. 3rd ed. Addison-Wesley Professional, 2009. 800 p.
8. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering. 4th ed. CRC Press, 2018. 1198 p.

УДК 004.89:519.173

Бражанюк Андрій

Здобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0005-2749-6071

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Мазуренко Роман

PhD (Eng.), асистент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0003-3954-9423

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФОВИХ МОДЕЛЕЙ У ЗАДАЧАХ НАВІГАЦІЇ АУТОНОМНОГО АГЕНТА

Анотація: У роботі представлено дослідження методів навігації автономних агентів у дискретизованому середовищі за допомогою графових моделей. Проаналізовано принципи побудови зважених графів для врахування контексту середовища та ефективність застосування евристичних алгоритмів пошуку шляху.

Ключові слова: автономні агенти, графові моделі, алгоритм A^* , зважений граф, інтелектуальна навігація, евристичний аналіз.

Вступ

Проблема переміщення об'єктів у динамічному середовищі полягає не лише у фізичному русі, а й у здатності системи адаптуватися до умов, що постійно змінюються. Традиційні підходи часто створюють занадто жорсткі, «роботизовані» маршрути, які не враховують контекст оточення, як-от складність проходу або потребу в маскуваннях. Використання теорії графів дозволяє структурувати хаотичний простір у математичну модель, де кожен крок агента стає результатом розрахунку на зваженій структурі [6].

Мета

Аналіз та апробація ефективності графових моделей для автономної навігації, що забезпечує адаптивність агента до перешкод та різних типів поверхні.

Виклад основного матеріалу

Формалізація середовища за допомогою графових структур. В основі дослідження лежить концепція дискретизації неперервного геометричного простору. Для того, щоб перетворити фізичну площину на зрозумілу для алгоритмів структуру (рис.1), використано метод декомпозиції на сітку (grid-based decomposition).

Це дозволяє представити середовище у вигляді графа $G = (V, E)$, де множина вершин V відповідає центрам клітинок сітки, а множина ребер E відображає фізичну можливість переміщення між сусідніми вузлами. На відміну від простих списків координат, графова модель дозволяє застосовувати апарат теорії графів для аналізу зв'язності та топології простору, що є критично важливим для автономних систем [5].

Диференціація зон прохідності через механізм зважування. Для забезпечення інтелектуальної поведінки агента було відмовлено від бінарної логіки («прохідно/непрохідно»).

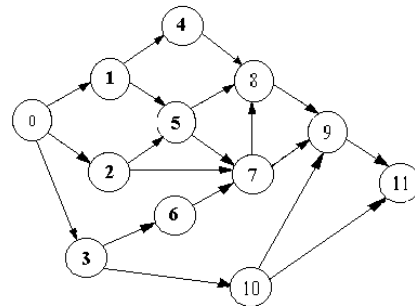


Рисунок 1 - Сітковий граф

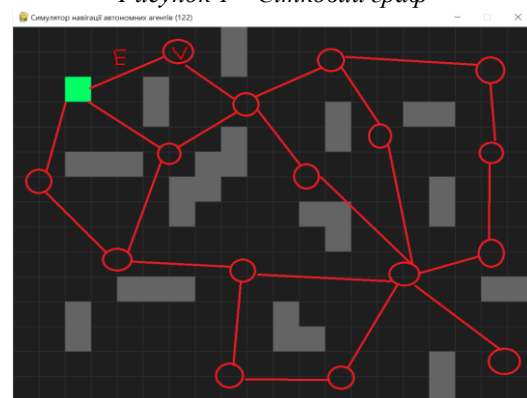


Рисунок 2 - Модель представлення віртуального простору у формі графа

Впроваджено функцію вартості ребер $w(e)$, яка перетворює звичайний граф у зважений $G = (V, E, W)$. Це дозволяє моделювати якісні характеристики поверхні. У ході дослідження було виділено та параметризовано такі типи зон:

-Зони мінімального опору ($W = 1$) - відкриті ділянки, що не створюють перешкод для руху.

-Зони змінного ландшафту ($W = 3$ та $W = 10$) - математична інтерпретація в'язких або складних поверхонь, таких як пісок або болото. Агент розглядає такі вузли як «дорогі», що змушує його шукати альтернативи, якщо вони існують [2].

-Статичні перешкоди ($W = \infty$) - вузли, що позначають стіни або об'єкти, які динамічно виключаються з процесу перебору.

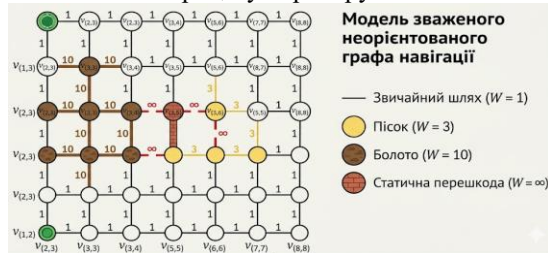


Рисунок 3 - Типізація елементів середовища через вагові коефіцієнти графа

Аналіз ефективності алгоритму A^* та евристичних функцій*. Навігаційна логіка агента базується на алгоритмі A^* , який поєднує переваги пошуку за критерієм вартості та чистого евристичного пошуку [1].



Рисунок 4 - Представлення алгоритму A^*

Ключовим аспектом дослідження є мінімізація функції $f(n) = g(n) + h(n)$. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору евристики $h(n)$. Для сіткових графів найбільш ефективно визначено метрику Манхеттенської відстані:

$$h(n) = |x_{goal} - x_n| + |y_{goal} - y_n|$$

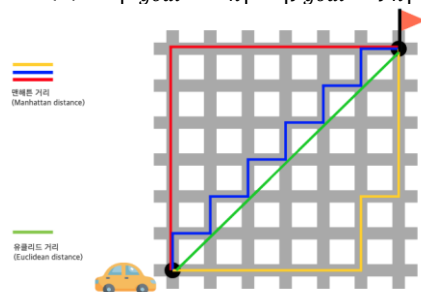


Рисунок 5 - Геометрична інтерпретація Манхеттенської відстані

На відміну від Евклідової відстані, яка розраховує шлях по прямій («як летить птах»), Манхеттенська метрика враховує специфіку дискретної сітки, де рух обмежений лише вертикальними та горизонтальними переходами. Як продемонстровано на рисунку 5, незалежно від

обраної траєкторії (червона, синя чи жовта лінії), загальна сума кроків між початковою та кінцевою точками залишається константною. Це дозволяє алгоритму A^* стабільно оцінювати залишковий шлях, уникаючи складних обчислень квадратних коренів, що прискорює роботу навігаційної системи в реальному часі [4].

В цілому вона забезпечує «оптимістичну» оцінку залишку шляху, що гарантує знаходження оптимальної траєкторії. Застосування цієї моделі дозволяє агенту ефективно «відсікати» завідомо хибні гілки графа, зосереджуючи обчислення на напрямках до цілі.

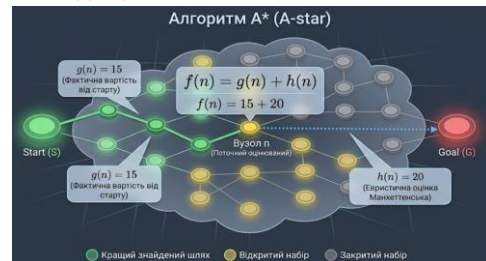


Рисунок 6 - Візуалізація процесу пошуку оптимального маршруту алгоритмом A^*

NB-IoT – стандарт, який обслуговує пристрої з малим об'ємом даних. пристрої підключені до Bluetooth споживають менше енергії [3].

Висновок

Дослідження продемонструвало, що впровадження системи динамічних ваг у графові структури дозволяє наділити автономного агента здатністю враховувати контекст оточення. Сформована теоретична база та результати симуляції можуть бути використані як фундамент для розробки складніших систем управління групами інтелектуальних агентів.

Список літератури

1. Introduction to the A^* Algorithm. URL: <https://www.redblobgames.com/pathfinding/a-star/introduction.html>
2. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. - 4th ed. - Pearson, 2020. - 1166 p.
3. Бондаренко М. Ф., Білоус Н. В., Руткас О. Г. Теорія графів : навчальний посібник. - Харків : Компанія СМІТ, 2012. - 160 с.
4. Exploiting Obstacle Geometry to Reduce Search Time in Grid-Based Pathfinding // MDPI Symmetry. - 2020. - Vol. 12(7). URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/7/1186>
5. Структура даних Граф / Graph. URL: <https://www.kostrub.online/2020/08/Struktura-danyx-Graph.html>
6. Сітьове планування. URL: <https://studfile.net/preview/8341502/page:5/>

УДК 004.75:004.052

Романенко Дмитро

Аспірант каф. ІТ, ORCID:0009-0007-9861-3030

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Поплавський Олександр

д.т.н., доц., проф. каф. ІТ, ORCID: 0000-0003-0465-6843

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

РЕСУРСОЕФЕКТИВНИЙ ПРОТОКОЛ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ FAAS-ФУНКЦІЙ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО БЮДЖЕТУ ВИКЛИКІВ

Анотація: Експериментальна оцінка продуктивності serverless-функцій ускладнюється шумом мультитенантного середовища, а задачі автоматизованого підбору конфігурації додатково обмежують бюджет викликів. Запропоновано протокол, що поєднує JIT-розігрів, відкидання першого виклику та медіанну агрегацію за обсягу вибірки $k=10$. Обґрунтовано вибір складових із посиланням на статистичні властивості медіани та особливості JIT-компіляції в Node.js V8. Сумарна вартість оцінювання однієї конфігурації — на один–два порядки менше, ніж у класичних наборах інструментів. Зроблено висновок про придатність протоколу як основи для алгоритмів пошуку конфігурації розподілених систем.

Ключові слова: безсерверні обчислення; AWS Lambda; тестування продуктивності; вибіркова медіана; точка зламу; JIT-компіляція; обмежений бюджет викликів; підбір конфігурації.

Постановка проблеми

Модель Function-as-a-Service (FaaS) утвердилася як одна з провідних архітектурних парадигм побудови масштабованих хмарних застосунків. Платформа AWS Lambda тарифікує виконання як добуток виділеного обсягу пам'яті на тривалість виконання та пропорційно масштабує доступну CPU-потужність відповідно до обсягу пам'яті [1]. Оптимальне значення цього параметра не може бути визначене аналітично — його пошук вимагає емпіричних вимірювань на цільовій платформі. Вимірювання у мультитенантному хмарному середовищі ускладнюються правоскошеністю розподілів тривалостей виконання [2], паузами збирача сміття та апаратною неоднорідністю в межах одного регіону. Окрему категорію задач становить автоматизований пошук конфігурації, в якій сумарний бюджет викликів обмежений економічними та часовими міркуваннями. Це створює проблему: як забезпечити статистично надійну оцінку продуктивності конфігурації за мінімально достатнього обсягу вибірки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Набори інструментів для тестування продуктивності serverless-платформ становлять найбільш опрацьовану категорію. Інструментарій SeBS [3] використовує вибірку медіану з 200 «теплих» викликів на конфігурацію та 50 «холодних»

викликів; подібного обсягу дотримуються й інші набори інструментів. Такі параметри забезпечують високу статистичну надійність, проте передбачають значний сумарний бюджет викликів. Інструменти підбору конфігурації (AWS Lambda Power Tuning [4], COSE) зосереджені на алгоритмі пошуку, а не на статистичній надійності вимірювання як такої. Робота [2] емпірично продемонструвала правоскошеність розподілів, проте конкретних рекомендацій щодо мінімально достатнього обсягу вибірки не наводить.

Спільною рисою наявних підходів є орієнтація на профілювальні сценарії з достатнім бюджетом викликів. Питання мінімально необхідних статистичних параметрів вимірювального протоколу для випадку обмеженого бюджету залишається у літературі недостатньо опрацьованим.

Мета

Метою роботи є розроблення та обґрунтування протоколу вимірювання продуктивності функцій FaaS, що забезпечує статистично надійну оцінку центральної тенденції тривалості виконання за мінімально достатнього обсягу вибірки. Завдання роботи: формалізувати задачу оцінювання за умов правоскошеного шуму; обґрунтувати вибір складових протоколу з посиланням на властивості статистичних оцінок та особливості виконавчого середовища; обґрунтувати вибір обсягу вибірки $k=10$.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо функцію FaaS, параметризовану конфігураційною змінною m (виділений обсяг пам'яті). Спостережувана тривалість d відрізняється від істинного значення $\tau(m)$ на величину адитивного шуму ε :

$$d = \tau(m) + \varepsilon(1)$$

де ε — невідомий правоскошений розподіл [2].

Задача оцінювання — визначити оцінку $\hat{\tau}(m)$ за вибіркою з k незалежних викликів; оцінка має бути одночасно стійкою до правоохвостових викидів, економною щодо k та повторюваною між незалежними запусками. Додатковим джерелом систематичної похибки є ефект холодного старту: перший виклик після зміни конфігурації включає час ініціалізації нового виконавчого контейнера, що може на порядок перевищувати усталений час виконання.

1) JIT-розігрів. Перед основним обчислювальним блоком функція виконує арифметичний цикл з 10 000 ітерацій, що надійно активує оптимізуючий JIT-компілятор Turbofan рушія Node.js V8. Без розігріву вимірюваний фрагмент виконується в інтерпретованому або частково скомпільованому режимі, що додає до вимірювань неконтрольовану складову.

2) Відкидання першого виклику. Після оновлення конфігурації перший виклик супроводжується ініціалізацією нового виконавчого контейнера; його результат відкидається, вимірювання починається з другого виклику у «теплому» контейнері.

3) Медіанна агрегація. Виконується $k=10$ «тепліх» викликів; оцінкою тривалості приймається вибіркова медіана за формулою:

$$\hat{\tau}(m) = \text{median}(d_1, d_2, \dots, d_{10}) \quad (2)$$

де $\hat{\tau}(m)$ — оцінка істинної тривалості виконання функції за конфігурації m ; $d_1, d_2, \dots, d_{10}$ — спостережувані тривалості десяти «тепліх» викликів.

Вибір медіани замість арифметичного середнього обґрунтовується таким міркуванням. Для правоскошеного шуму середнє є зміщеним угору оцінювачем, оскільки на нього непропорційно впливають значення з довгого правого хвоста. Медіана має точку зламу 50 %: у вибірці з десяти елементів вона не зазнає впливу до чотирьох екстремальних спостережень, чого структурно достатньо для поглинання правоохвостових викидів, зафіксованих у [2]. Вибір $k=10$ є компромісом між статистичною надійністю та економністю. За $k=10$ медіана обчислюється як середнє п'ятої та шостої порядкових статистик упорядкованої вибірки, що забезпечує толерантність до 2–3 викидів. При

меншому k медіана стає чутливою до окремих викидів; при більшому k бюджет викликів зростає пропорційно, тоді як стандартна похибка медіани спадає лише як $1/\sqrt{k}$.

Висновок та перспективи подальших досліджень

Запропоновано ресурсоефективний протокол вимірювання продуктивності функцій FaaS, орієнтований на задачі автоматизованого підбору конфігурацій із обмеженим бюджетом викликів. Протокол поєднує три компоненти — JIT-розігрів, відкидання першого виклику та медіанну агрегацію за обсягу вибірки $k=10$. Сумарний бюджет — одинадцять викликів на конфігурацію, що на один–два порядки менше за класичні набори інструментів. Вибір медіани обґрунтовано її точкою зламу 50 %, а вибір $k=10$ — компромісом між толерантністю до викидів та економністю. Рекомендується емпірична перевірка протоколу на промислових FaaS-навантаженнях; перевірка на інших мовних середовищах та хмарних платформах; адаптивне визначення обсягу вибірки; інтеграція протоколу у складі автоматизованих систем багатокритеріального вибору конфігурацій розподілених програмних систем.

Список літератури

1. Configuring Lambda function memory : AWS Lambda Developer Guide. Amazon Web Services. URL: <https://docs.aws.amazon.com/lambda/latest/dg/configuring-memory.html> (дата звернення: 25.05.2026).
2. Wang L., Li M., Zhang Y., Ristenpart T., Swift M. Peeking Behind the Curtains of Serverless Platforms. Proceedings of the 2018 USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC '18). Boston, MA, USA : USENIX Association, 2018. P. 133–146.
3. Copik M., Kwasniewski G., Besta M., Podstawski M., Hoefler T. SeBS: A Serverless Benchmark Suite for Function-as-a-Service Computing. Proceedings of the 22nd International Middleware Conference (Middleware '21). Québec city, Canada : ACM, 2021. P. 64–78. DOI: <https://doi.org/10.1145/3464298.3476133>.
4. Casalbani A. AWS Lambda Power Tuning : open-source state machine tool. GitHub repository. 2024. URL: <https://github.com/alexcasalbani/aws-lambda-power-tuning> (дата звернення: 25.05.2026)

УДК 004.8:331.108.2

Лісневський Віталій

School of Software Engineering, ORCID: 0009-0000-1678-5621

Astana IT University, м. Астана, 010000, Казахстан

Лісневський Владлен

Department of Psychology, ORCID: 0009-0004-5488-1111

Taras Shevchenko National University of Kyiv, м. Київ, 01033, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ AI-СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКРИНІНГУ РЕЗЮМЕ НА ОСНОВІ NLP ТА СЕМАНТИЧНОГО РАНЖУВАННЯ

Анотація. Вступ: у роботі розглянуто проблему первинного відбору кандидатів у цифровому рекрутингу, де резюме мають різні формати, структуру та професійні формулювання. Запропоновано вебсистему HireWise AI, яка підтримує рекрутера під час раннього аналізу документів, але не замінює людське рішення. Результати дослідження: реалізовано прототип із модулями завантаження CV, вилучення тексту, формування профілю кандидата, зіставлення з описом вакансії, ранжування та пояснення результату. Для перевірки використано контрольний корпус із 1000 CV і окрему партію з 50 PDF-резюме. Висновки: поєднання TF-IDF, косинусної подібності, семантичного представлення тексту та покриття вимог дає більш змістовний shortlist, ніж простий пошук ключових слів.

Ключові слова: штучний інтелект; рекрутинг; скринінг резюме; NLP; TF-IDF; косинусна подібність; HireWise AI

Постановка проблеми

Сучасні компанії отримують велику кількість резюме через job-портали, електронну пошту та ATS-системи. Ручний перегляд забирає час, а звичайний пошук за ключовими словами пропускає релевантних кандидатів, якщо одна й та сама компетенція описана іншими словами. Тому актуальним є створення інструменту, який швидко формує shortlist, але залишає рекрутеру можливість перевірити причини ранжування.

Для управління розвитком технологій така задача має практичне значення: якість первинного відбору впливає на швидкість залучення спеціалістів для цифрових проєктів. Автоматизація повинна підвищувати відтворюваність оцінки, враховувати психолого-організаційний аспект добору персоналу та не перетворювати процес найму на закритий алгоритм без пояснень.

Аналіз останніх досліджень

Методи інформаційного пошуку, зокрема TF-IDF і косинусна подібність, залишаються корисними для прозорого порівняння текстів [1], [2]. Їхня перевага полягає в простій перевірці ключових термінів, проте вони слабше працюють із синонімами та різними формулюваннями професійного досвіду.

Трансформерні моделі, такі як BERT і Sentence-BERT, дають змогу порівнювати документи за змістом, а не лише за однаковими словами [3], [4]. Архітектурною основою таких моделей є механізм уваги [6], а компактні моделі на кшталт MiniLM можуть прискорювати локальне порівняння [7]. У рекрутингу це корисно для зіставлення резюме з описом вакансії. Водночас застосування AI у наймі потребує людського контролю, прозорості, захисту

персональних даних і обережного ставлення до ризику упередженості [5], [8]. Практичні ATS-платформи, зокрема LinkedIn Recruiter і Greenhouse, підтверджують попит на цифрову підтримку найму, однак їхні внутрішні механізми ранжування не завжди є відкритими для академічної перевірки [9], [10].

Мета та завдання

Метою дослідження є розроблення прототипу HireWise AI - вебсистеми для автоматизованого первинного скринінгу резюме з пояснюваним ранжуванням кандидатів. Основні завдання: визначити вимоги до системи, побудувати архітектуру обробки CV, реалізувати модулі NLP-аналізу та оцінювання відповідності, а також перевірити роботу прототипу на контрольних документах.

Основний матеріал дослідження

HireWise AI працює як конвеєр: користувач завантажує резюме та вводить опис вакансії; система витягує текст, нормалізує його, знаходить навички, освіту, досвід і рольові ознаки; після цього обчислюється відповідність кандидата вимогам вакансії. Окреме зберігання сирих файлів, очищеного тексту, структурованого профілю та результатів оцінювання підвищує відтворюваність і полегшує аудит.

Таблиця 1 - Функціональні модулі прототипу HireWise AI

Модуль / технологія	Призначення
CV intake / Python API	Завантаження PDF/DOCX
NLP parsing / TF-IDF, SBERT	Виділення тексту й сутностей
Scoring / cosine + coverage	Розрахунок відповідності
UI / React	Виведення рейтингу

Підсумкова оцінка поєднує семантичну близькість і перевірку явних вимог. У прототипі більшу вагу має загальний професійний контекст, але окремі критичні вимоги вакансії залишаються видимими в поясненні:

$$Sfinal(i) = 0,65 \cdot Ssem(i) + 0,35 \cdot Scov(i) \quad (1)$$

де $Sfinal(i)$ - підсумковий бал кандидата; $Ssem(i)$ - семантична подібність між вакансією та резюме; $Scov(i)$ - покриття обов'язкових і бажаних вимог.

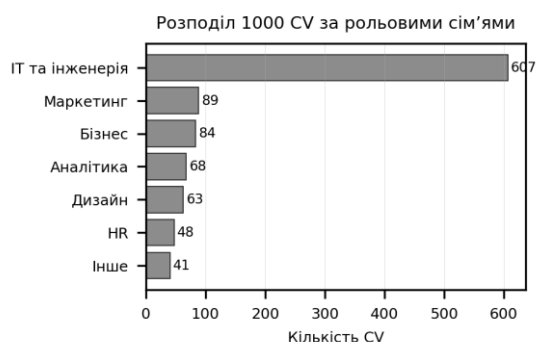


Рисунок 1 - Розподіл корпусу: вісь X - кількість CV, вісь Y - рольова сім'я

Експериментальна частина включала корпус із 1000 CV для описового аналізу та партію з 50 PDF-резюме для перевірки роботи вебсистеми. У корпусі домінувала рольова сім'я IT та інженерія, що є доречним для перевірки технічних вакансій і професійних навичок.

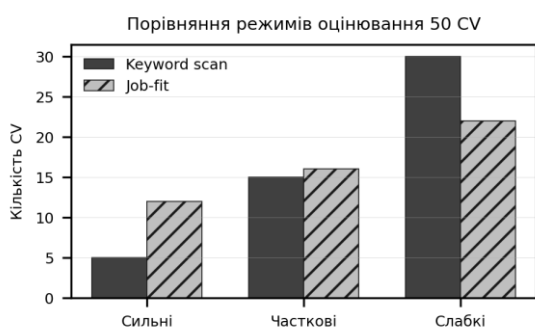


Рисунок 2 - Оцінювання 50 CV: вісь X - категорія збігу, вісь Y - кількість резюме

У режимі keyword scan для запиту Python, SQL, FastAPI 30 із 50 резюме отримали 0%, бо не мали точного збігу. У режимі job-fit для вакансії Backend + Linux система враховувала ширший контекст: навички, попередні ролі, освіту й досвід. Це дало більш корисне ранжування для попереднього відбору. Додатково результати показали, що

пояснення біля оцінки допомагає рекрутеру швидко відрізнити сильний збіг від формального збігу окремих слів.

Висновки

Розроблений прототип HireWise AI показує, що первинний скринінг резюме можна автоматизувати без втрати пояснюваності. Комбінація TF-IDF, косинусної подібності, семантичного кодування та перевірки покриття вимог формує зрозумілий shortlist і зменшує рутинне навантаження на рекрутера. Практична цінність рішення полягає в тому, що система не приймає остаточного кадрового рішення, а підтримує фахівця під час попереднього аналізу документів. Перспективами подальшої роботи є багатомовна обробка, покращене розпізнавання сканованих документів, тестування справедливості, розширення набору метрик оцінювання та інтеграція з корпоративними ATS.

Список літератури

1. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge : Cambridge University Press, 2008.
2. Salton G., Buckley C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval. Information Processing & Management. 1988. Vol. 24, No. 5. P. 513-523.
3. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. NAACL-HLT. 2019. P. 4171-4186.
4. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. EMNLP-IJCNLP. 2019. P. 3982-3992.
5. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). 2023.
6. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser Ł., Polosukhin I. Attention is All You Need. Advances in Neural Information Processing Systems. 2017.
7. Wang W., Wei F., Dong L., Bao H., Yang N., Zhou M. MiniLM: Deep Self-Attention Distillation for Task-Agnostic Compression of Pre-Trained Transformers. NeurIPS. 2020.
8. European Parliament and Council. Regulation (EU) 2016/679, General Data Protection Regulation. Official Journal of the European Union. 2016.
9. LinkedIn. LinkedIn Recruiter product overview. URL: <https://www.linkedin.com/products/linkedin-recruiter/>
10. Greenhouse. Applicant tracking software and hiring platform. URL: <https://www.greenhouse.com/>

УДК 004.8

Мозгова Кіра

Здобувачка вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Тихонова Ольга

асистент, кафедра інформаційних технологій, <https://orcid.org/0000-0002-2568-0992>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОГРАМНІЙ СИСТЕМІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до побудови модуля автоматизованого розрахунку необхідних будівельних матеріалів у складі програмної системи для організації робіт з утеплення житлових будинків. Запропоновано подавати конструктивні параметри об'єкта у вигляді вектора геометричних і теплотехнічних ознак, а задачу розрахунку формалізувати як систему детермінованих інженерних рівнянь та алгоритмів нормативного підбору компонентів теплоізоляції. Результатом є формування точної специфікації матеріалів для підтримки прийняття організаційно-технічних рішень.

Ключові слова: програмна система, термомодернізація, розрахунок матеріалів, теплоізоляція, інженерні алгоритми, автоматизація.

Вступ

В умовах зростання вартості енергоресурсів актуальним є завдання підвищення енергоефективності існуючого житлового фонду шляхом масового проведення робіт із термомодернізації. Традиційно розрахунок потреби в матеріалах для утеплення (теплоізоляційні плити, сухі будівельні суміші, армувальні елементи, кріплення) ґрунтується на ручній обробці креслень, кошторисних нормах та інженерних розрахунках відповідно до будівельних стандартів [1].

Однак у випадках масштабних проєктів або за необхідності оперативного планування робіт на великій кількості об'єктів ручний процес може бути недостатньо оперативним і точним, оскільки потребує значних часових та людських ресурсів. Складність автоматизації полягає в тому, що житлові будинки мають різний характер архітектурних форм, геометричних параметрів, площ прорізів та поточного технічного стану огорожувальних конструкцій.

Мета

Метою роботи є формування узагальненого інженерного підходу до автоматизації розрахунку обсягів необхідних будівельних матеріалів у складі програмної системи організації робіт з утеплення житлових будинків на основі геометричних і нормативних параметрів об'єкта.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на поданні

процесу розрахунку матеріалів для термомодернізації як послідовності детермінованих інженерних обчислень, що базуються на державній нормативній базі.

Для розв'язання даної задачі застосовуються математичні алгоритми, призначені для обробки структурованих табличних даних та геометричного моделювання поверхонь фасадів. Автоматизована програмна система дозволяє оперативно працювати з великою кількістю однотипних або різнорідних об'єктів і забезпечувати уніфікований швидкий розрахунок [2].

Кожен об'єкт у межах такого підходу розглядається як окремий приклад, що описується набором ознак, пов'язаних із геометричними розмірами стін, вікон, дверей, а також характеристиками матеріалів. Формально житловий будинок подається у вигляді вектора ознак:

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де X_i – вектор ознак i -го житлового об'єкта, $x_1, x_2, \dots, x_n$ – окремі геометричні та конструктивні характеристики (загальна площа стін, площа прорізів, довжина укосів, кількість кутів, матеріал стіни, нормативний опір теплопередачі), n – загальна кількість ознак, що використовуються для розрахунку.

Результатом функціонування модуля є вектор специфікації матеріалів:

$$Y_i = (y_1, y_2, \dots, y_m), \quad (2)$$

де $y_j=1$ обчислена кількість j -го будівельного матеріалу (теплоізоляційні плити, клейова суміш,

сітка, дюбелі), а m – загальна номенклатура матеріалів технологічної системи.

Для визначення необхідної товщини основного теплоізоляційного шару використовується формула інженерного розрахунку термічного опору:

$$\delta_{ins} = \lambda_{ins} \wedge \text{middot}; (R_{q,min} - R_v), \quad (3)$$

де δ_{ins} – мінімальна товщина утеплювача, λ_{ins} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $R_{q,min}$ – нормативне значення опору теплопередачі для певної кліматичної зони, R_v – фактичний термічний опір існуючої стіни будівлі [4].

На основі обчисленої товщини та вектора ознак X_i модуль формує кінцеві обсяги кожної позиції матеріалу з урахуванням нормативних коефіцієнтів технологічних втрат:

$$y_j = f_j(X_i) \wedge \text{middot}; (1 + k_{loss,j})$$

де $f_j(X_i)$ – базова функція геометричного розрахунку потреби j -го матеріалу, а $k_{loss,j}$ – коефіцієнт природних втрат матеріалу при виконанні робіт.

Наведена послідовність автоматизованого розрахунку інтегрована у загальну структуру системи:

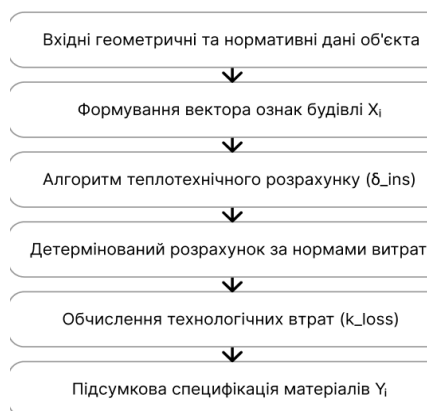


Рисунок 1 - Узагальнена схема роботи автоматизованого модуля розрахунку необхідних матеріалів

Наведена схема на рис. 1 відображає послідовність розрахунку: дані про геометричні параметри та нормативні вимоги перетворюються на вектор ознак, який подається до розрахункового модуля програмної системи. Модель формує відомість та специфікацію матеріалів, що використовується для планування матеріально-технічного забезпечення та формування кошторисної документації [4].

Для переходу від розрахованого значення товщини теплоізоляції до стандартного

(комерційного) розміру плит, що є на ринку, у модулі використовується правило округлення до найближчого більшого номіналу:

$$A_{final} = \text{ceil} \left(\text{delta} \frac{\delta_{ins}}{t} \right) \wedge \text{middot}; t_{Lifeline}, \quad (4)$$

де t – заданий крок дискретності товщини матеріалу (наприклад, 10 мм або 50 мм).

Отримане значення може використовуватися як додатковий параметр під час аналізу матеріаломісткості об'єкта. Воно дає змогу не лише визначити точну потребу для закупівлі, а й оцінити ступінь відхилення реальних обсягів від базових теоретичних значень із урахуванням технологічного запасу [5].

Висновок

Застосування автоматизованих детермінованих алгоритмів у складі програмної системи дає змогу суттєво підвищити оперативність розрахунку потреби в будівельних матеріалах для утеплення житлових будинків та повністю формалізувати цей процес. Основою підходу є аналіз сукупності геометричних та теплотехнічних ознак об'єкта та формування точної специфікації матеріалів з урахуванням нормативних коефіцієнтів втрат. Такий підхід доцільно розглядати як допоміжний інструмент для інженерів, менеджерів проєктів та будівельних організацій, що сприяє більш обґрунтованому та раціональному використанню матеріальних ресурсів.

Список інформаційних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіон України, 2021. 64 с.
2. Ткаченко О. М., Петренко В. П. Інформаційні технології автоматизованого розрахунку потреби в матеріалах для проєктів термомодернізації будівель. Будівельне виробництво. 2023. № 75. С. 34–41.
3. Колісник А. П., Черненко О. В. Автоматизація розрахунку кошторисної вартості та матеріальних ресурсів при термомодернізації об'єктів житлового фонду. Будівельне виробництво. 2023. № 74. С. 45–51.
4. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіон України, 2014. 32 с.
5. Махия В. О. Програмний комплекс для ресурсного планування будівельних процесів на підприємствах житлово-комунального господарства. Сучасні технології в будівництві. 2024. Вип. 38. С. 89–96.

УДК 004.8

Терентьев Олександр

д.т.н., професор кафедри ІТППМ, orcid.org/0000-0001-9499-6635

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Соловей Богдан

аспірант кафедри ІТППМ, orcid.org/0009-0008-0328-1123

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ МОНОРЕЙКОВОГО КРАНА ЗА ЗМІННОГО ОБСЯГУ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ

Нестабільний обсяг телеметричних даних, які надходять від сенсорів встановлених на монорейковому крані, може негативно впливати на продуктивність моделей машинного навчання GRU для оцінювання експлуатаційної надійності монорейкового крана, які розгорнуті у хмарному середовищі, спричиняючи затримки в отриманні аналітичних даних щодо стану крана. Метою роботи є визначення підходу до дослідження продуктивності таких моделей за змінного навантаження. Результати дослідження продуктивності моделі GRU за запропонованим підходом дадуть змогу визначити конфігурацію хмарного компонента Azure Container Apps, яка забезпечить очікувану продуктивність моделі GRU після її розгортання.

Ключові слова: продуктивність, модель, Azure Container Apps, телеметричні дані

Вступ

Для моніторингу експлуатаційної надійності монорейкового стрілового пересувного крана інтелектуальна технологія повинна отримувати в реальному часі дані про навантаження на гак, виліт стріли, її прогин, параметри протитяги, реакції опор і деформації нижньої конструкції. Ці дані називаються телеметричними і надходять від сенсорів різних типів, таких як: датчики навантаження (наприклад, Straightpoint Radiolink Plus), датчики осьового навантаження (SICK AFS/AFM60), датчики деформації (HBM WA-T) або тензодатчики (Flintec RC3) з відповідними цифровими передавачами. [1].

Процес перетворення телеметричних даних на аналітичні для моніторингу експлуатаційної надійності монорейкового крана включає такі підпроцеси (рис. 1):

- 1.Отримання та передача телеметричних даних.
- 2.Обробка телеметричних даних.
- 3.Оцінювання надійності монорейкового крана.
- 4.Передача аналітичних даних для моніторингу

надійності монорейкового крана та надсилання сповіщень про ризики.

Підпроцес «Оцінювання надійності монорейкового крана» забезпечується моделлю багатозадачної рекурентної нейронної мережі (GRU) з механізмом самоуваги для безперервного оперативного моніторингу. У випадках, коли прогнози наближаються до критичних порогів, додатково залучається модель багатозадачної рекурентної нейронної мережі GRU з механізмом

уваги та байєсівським наближенням для отримання оцінки ризиків та глибшого аналізу невизначеності [2].

Телеметричні дані з датчиків надходять нерівномірно, а їхній обсяг може неочікувано змінюватися. Це може негативно вплинути на продуктивність моделей GRU і, як результат, викликати затримку при отриманні аналітичних даних про ризики. Тому моделі GRU варто розгорнути в контейнері, що є частиною середовища Azure Container Apps із вбудованою підтримкою Kubernetes Event-driven Autoscaling (KEDA) для масштабування кількості реплік залежно від обсягу подієвих даних [3].

При цьому ефективність масштабування залежить від того, наскільки правильно в конфігурації Azure Container Apps буде визначено максимальну кількість реплік моделей, які створюватимуться при збільшенні обсягу даних. Це можливо лише на основі результатів продуктивності моделей оцінювання надійності монорейкового крана за змінного обсягу телеметричних даних.

Мета

Метою роботи є визначення підходу до дослідження продуктивності моделей оцінювання надійності монорейкового крана за змінного обсягу телеметричних даних.

Виклад основного матеріалу

Під продуктивністю моделей у цій роботі розуміється здатність системи обробляти телеметричні дані та формувати аналітичні

результати в межах допустимих часових обмежень за різного обсягу вхідних повідомлень. Пропонується підхід до дослідження продуктивності, що складається з таких кроків: 1) визначення набору показників продуктивності; 2) організація процесу збору показників; 3) оцінювання результатів.

Перелік показників для визначення продуктивності моделей багатозадачної рекурентної нейронної мережі GRU:

Середній час моделі для оцінювання стану крана визначається як:

$$T_{inf} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i^{out} - t_i^{in}), \quad (1)$$

де N - кількість оброблених повідомлень; t_i^{in} - час надходження i -го повідомлення до моделі; t_i^{out} - час завершення обробки i -го повідомлення.

Загальна затримка L_i обробки i -го повідомлення телеметричних даних включає час передавання

повідомлення через хмарну інфраструктуру $T_{cloud,i}$ та час обробки повідомлення моделлю $T_{inf,i}$:

$$L_i = T_{cloud,i} + T_{inf,i}, \quad (2)$$

Для оцінювання здатності системи працювати в реальному часі вводиться обмеження:

$$\underline{L} = \alpha \cdot \Delta t_s, \quad (3)$$

де $\underline{L}$ - середня затримка, Δt_s - інтервал надходження телеметричних даних; α - коефіцієнт допустимої затримки.

Пропускна здатність системи визначається кількістю повідомлень, які система може обробити за одиницю часу:

$$TP = \frac{N}{T}, \quad (4)$$

де N - кількість оброблених повідомлень; T - загальний час експерименту.

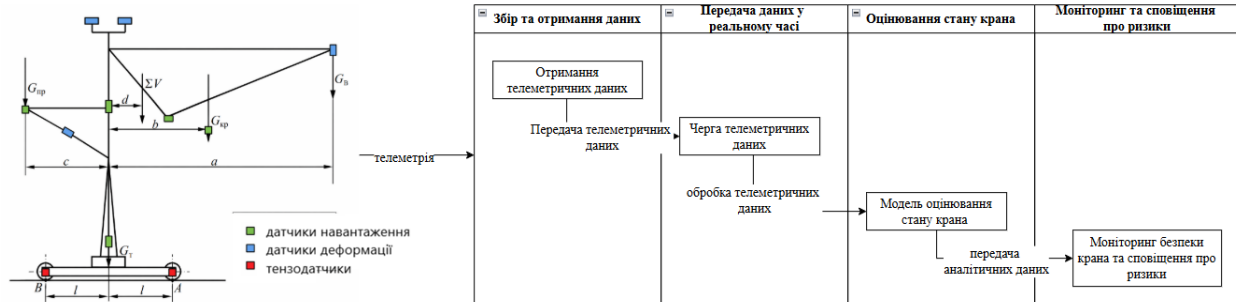


Рисунок 1 – Процеси ІТ забезпечення експлуатаційної надійності монорейкового стрілового пересувного крана

Експериментальне дослідження продуктивності моделей оцінювання надійності монорейкового крана проводиться шляхом поступового збільшення інтенсивності потоку телеметричних даних. Для цього формується набір тестових сценаріїв із різною частотою надходження повідомлень (кількістю повідомлень за секунду). У процесі експерименту фіксуються часові мітки надходження телеметричних даних, завершення висновування (інференсу) моделей та кількість створених реплік контейнерів.

Отримані результати дозволять визначити:

- максимальний обсяг телеметричних даних, який система здатна обробляти без порушення часових обмежень;
- необхідну кількість реплік моделей GRU при різних інтенсивностях потоку даних;
- порогові значення навантаження, після яких виникає погіршення продуктивності.

Висновок

У роботі визначено підхід до дослідження продуктивності моделей оцінювання надійності

монорейкового крана за умов змінного обсягу телеметричних даних. Результати дослідження продуктивності моделі GRU за запропонованим підходом дадуть змогу визначити конфігурацію хмарного компонента Azure Container Apps, яка забезпечить очікувану продуктивність моделі GRU після її розгортання.

Список літератури

- Awad A. H., Alsabaan M., Ibrahim M. I., Saraya M. S., Elksasy M. S. M., Ali-Eldin A. M., Abdelsalam M. M. Low-cost IoT-based sensors dashboard for monitoring the state of health of mobile harbor cranes: Hardware and software description // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 22. – Article e40239. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40239.
- Терентьев, О., & Соловей, Б. (2026). Багатозадачні архітектури рекурентних нейронних мереж для інформаційної технології моніторингу безпеки монорейкового крана. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 363(2), 576–586. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-76>
- O. Makieiev, N. Kravets, Study of methods of creating service-oriented software systems in Azure, Computer Systems and Information Technologies (2) (2023) 38–47.

УДК 004.934:004.8:004.738.5

Барабанов Олександр

здобувач ступеня бакалавра, кафедри інформаційних технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Ачкасов Ігор

д.т.н., проф., професор кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0000-0002-7049-0530

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ОЗВУЧУВАННЯ ТЕКСТІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Анотація: Зростання попиту на локальні рішення синтезу мовлення з якісною підтримкою української мови зумовлює необхідність розробки власних систем, незалежних від комерційних хмарних сервісів. Результати дослідження. Розроблено веб-систему автоматичного озвучування текстів на основі нейронних мереж із підтримкою двох TTS-рушіїв (Microsoft Edge TTS та ElevenLabs) та OCR-розпізнавання тексту з PDF, DOCX і зображень. Реалізовано адаптерну архітектуру на Python/Flask із коефіцієнтом реального часу $RTF = 0,18$ та показником якості $MOS \geq 4,2$. Висновки. Система досягає точки безбитковості на 9-му місяці комерційної експлуатації; практична цінність підтверджена конкурентними перевагами у підтримці української мови порівняно з провідними хмарними аналогами

Ключові слова: синтез мовлення; нейронні мережі; Text-to-Speech; VITS; Microsoft Edge TTS; ElevenLabs; Flask; OCR; українська мова; веб-застосунок.

Постановка проблеми

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту та нейронних мереж відкриває нові можливості для автоматизації обробки природної мови. Серед актуальних напрямів особливе місце посідають технології синтезу мовлення (Text-to-Speech, TTS), що забезпечують перетворення текстової інформації на природний звуковий сигнал. Попри значний прогрес у галузі, переважна більшість якісних TTS-рішень доступна виключно у вигляді комерційних хмарних сервісів (Google Cloud TTS, Amazon Polly, ElevenLabs), що створює суттєві обмеження: залежність від інтернет-з'єднання, ризики конфіденційності та недостатню підтримку української мови [1]. Особливу гостроту ця проблема набуває в контексті цифрового розвитку України, де попит на якісний україномовний синтез мовлення стрімко зростає.

Аналіз останніх досліджень

Еволюція систем синтезу мовлення пройшла шлях від формантного та конкатенативного підходів через статистичні методи (HMM-based TTS) до сучасних наскрізних нейронних архітектур [1]. Револьюційним кроком стала поява архітектури Tacotron (2017), яка замінила традиційний конвеєр єдиною нейронною мережею. Подальший прогрес забезпечили FastSpeech та FastSpeech 2 (2019–2020), що реалізували паралельну генерацію мел-спектрограм. Архітектура VITS (2021) є першою

повністю наскрізною моделлю, яка безпосередньо генерує звуковий сигнал із тексту, поєднуючи варіаційний автоенкодер та змагальне навчання [2]. Дослідження в галузі підтримки малоресурсних мов підкреслюють необхідність спеціалізованих рішень для мов із обмеженими лінгвістичними ресурсами, до яких належить українська [3].

Мета статті

Метою роботи є проєктування та програмна реалізація системи автоматичного озвучування текстів на основі сучасних нейронних мереж із якісною підтримкою української мови, мінімалістичним веб-інтерфейсом та можливістю гнучкої інтеграції множинних TTS-рушіїв у єдиний адаптерний архітектурі.

Виклад основного матеріалу

На першому етапі проведено систематичний аналіз сучасного стану TTS-технологій і сформовано специфікацію вимог відповідно до стандарту ISO/IEC 25010 із застосуванням шкали пріоритетів MoSCoW. До ключових функціональних вимог віднесено: перетворення тексту на мовлення з підтримкою двох TTS-рушіїв; OCR-розпізнавання тексту з PDF, DOCX та зображень; вибір голосу й мови синтезу. Нефункціональні вимоги встановлюють: $RTF < 0,3$; $MOS \geq 4,0$; час відгуку менше 2 секунд [4].

Архітектуру системи реалізовано на основі адаптерного патерну, що забезпечує гнучку

взаємозамінність TTS-рушіїв без модифікації основного коду. Серверна частина розроблена на Python 3.10/Flask із RESTful API, клієнтська — на HTML5/CSS3/JavaScript. Об'єктна модель описує п'ять ключових класів: TTSService (адаптер), EdgeTTSAdapter, ElevenLabsAdapter, OCRService та AudioPlayer. Для роботи з вхідними документами реалізовано уніфікований препроцесор тексту на базі PyMuPDF та Tesseract OCR [4].

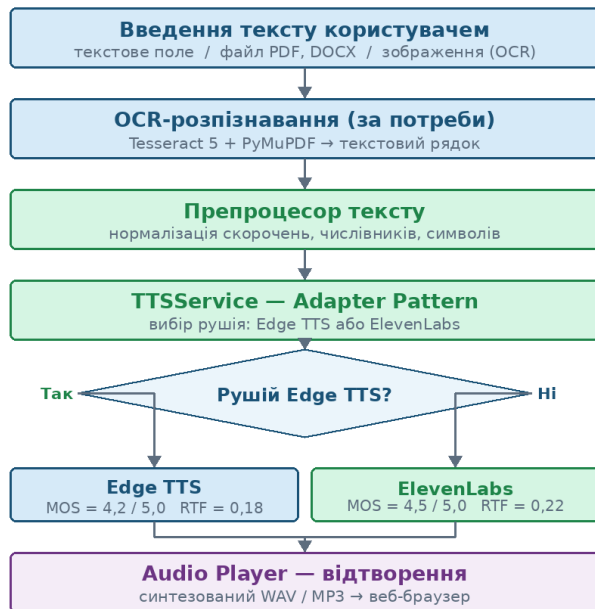


Рисунок 1 – Процес обробки тексту в системі TTS

Система інтегрує два TTS-рушії через єдиний інтерфейс. Microsoft Edge TTS забезпечує безкоштовний синтез у понад 140 мовах, зокрема 4 українські голоси. ElevenLabs пропонує клонування голосу та тонке налаштування просодики. Переключення між рушіями відбувається в один клік без перезавантаження сторінки. Система підтримує три режими введення: вручну через текстове поле, завантаженням файлу та опрацюванням зображень через OCR.

Тестування охопило три рівні: модульне (покриття 87% серверних функцій), інтеграційне (перевірка API-ендпоінтів /synthesize, /ocr, /voices) та функціональне (15 тест-кейсів). За результатами: MOS для Edge TTS — 4,2/5,0, для ElevenLabs — 4,5/5,0; RTF = 0,18; час відгуку не перевищує 1,4 с. Проведено порівняльний аналіз із хмарними аналогами: Google Cloud TTS (≈ \$16/млн симв.) та

Amazon Polly. Власна система після одноразового розгортання не потребує витрат на API-ліцензії та забезпечує повну конфіденційність даних [4].

Техніко-економічне обґрунтування показало: загальна трудомісткість розробки становить 156 людино-годин (умовна вартість 23 400 грн при ставці 150 грн/год). При регулярному озвучуванні 200 документів на місяць (середній обсяг 500 слів) щомісячна економія на API-витратах сягає 8 200 грн. Строк окупності — 2,9 місяця, ROI за 6 місяців — 110%. Система може бути комерціалізована за SaaS-моделлю (200–1 500 грн/міс.) або як On-premise-рішення для корпоративного сегменту.

Висновки

Розроблено функціональну веб-систему автоматичного озвучування текстів на основі нейронних мереж із якісною підтримкою української мови, адаптерною архітектурою та інтеграцією рушіїв Microsoft Edge TTS і ElevenLabs. Система забезпечує синтез мовлення у режимі реального часу (RTF = 0,18) та якість MOS ≥ 4,2/5,0 для обох рушіїв. Техніко-економічне обґрунтування підтвердило строк окупності 2,9 місяця при ROI 110% за пів року. Перспективами подальших досліджень є навчання власних нейронних голосових моделей на україномовних корпусах, реалізація потокової генерації мовлення для зниження латентності та розгортання повноцінної SaaS-версії системи.

Список літератури

1. Tan X., Qin T., Soong F., Liu T.-Y. A Survey on Neural Speech Synthesis. *arXiv preprint arXiv:2106.15561*. 2021.
2. Kim J., Kong J., Son J. Conditional Variational Autoencoder with Adversarial Learning for End-to-End Text-to-Speech. *Proceedings of ICML*. 2021. P. 5530–5540.
3. Lytvyn V., Vysotska V., Peleshchak I. Modern Approaches to Ukrainian Language Processing in Intelligent Systems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3171. P. 255–268.
4. Барабанов О. О. Розробка системи автоматичного озвучування текстів на основі нейронних мереж : кваліфікаційна випускна робота бакалавра / наук. кер. Мацієвський О. О. Київ : КНУБА, 2026. 95 с.

U.D.C. 004.932 + 004.8:624.012.4

Bekturganova Aruza

Student

Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Biloshchytka Svitlana

DSc (Eng.), Associate Professor, orcid.org/0000-0002-0856-5474

Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Kyiv, Ukraine

Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

IMPACT OF DATASET BALANCING ON CONCRETE CRACK DETECTION USING PCA AND CNN MODELS

Abstract. Automated crack detection in concrete structures plays an important role in structural health monitoring and maintenance planning. This paper investigates the influence of dataset imbalance on binary crack classification using two approaches: a neural network trained on PCA-transformed features and a convolutional neural network (CNN). Experiments were conducted on the bridge-deck subset of the SDNET2018 dataset. Under the original imbalanced distribution, both models achieved high overall accuracy but demonstrated poor crack detection recall. After balancing the dataset, minority-class sensitivity improved significantly, confirming that accuracy alone is insufficient for evaluating crack detection systems. The results also show that the PCA-based model provides more stable class-wise performance, while the CNN is more sensitive to changes in class distribution. The study highlights the importance of balanced evaluation metrics for reliable structural health monitoring applications.

Keywords: concrete crack detection; structural health monitoring; principal component analysis; convolutional neural networks; class imbalance

Introduction

Concrete elements in bridges, pavements and buildings deteriorate through cracking, which can signal shrinkage, fatigue, corrosion or overload. Manual inspection remains costly and observer-dependent, especially when large image collections must be reviewed. Automated image classification can support structural health monitoring, but concrete surfaces contain shadows, stains and texture variations that make crack patterns difficult to separate from background noise [1, 2].

A further limitation is class imbalance. In real inspection datasets, non-cracked surfaces usually dominate, so a classifier can achieve high accuracy while missing rare crack instances. This is critical because the minority class is the class with practical engineering value: false negatives delay maintenance decisions and can reduce infrastructure safety.

Goal

The purpose of this paper is to evaluate the impact of class imbalance on concrete crack classification and to compare two model types: a PCA-based neural network and a CNN. PCA (Principal Component Analysis) is used as a dimensionality-reduction method for high-dimensional image data. The study investigates model performance on the original imbalanced dataset and after dataset balancing, with particular attention to accuracy and class-wise recall.

Main part

Recent studies demonstrate growing interest in automated concrete crack detection using computer vision and deep learning techniques. Traditional handcrafted image-processing methods are gradually being replaced by data-driven approaches capable of learning complex visual patterns directly from image data. Edge detection, thresholding and morphology remain useful as interpretable preprocessing stages, but their reliability decreases under uncontrolled illumination and heterogeneous texture [2]. Deep convolutional networks improve feature learning because they extract hierarchical spatial patterns directly from images [3, 4]. Transfer-learning studies also show that pretrained architectures can reduce training cost for structural monitoring datasets [5].

Fig. 1 illustrates the experimental pipeline used in this study for evaluating the impact of dataset balancing on concrete crack classification. The workflow begins with preprocessing of the SDNET2018 dataset, including image normalization and resizing, followed by feature extraction. The experimental process is divided into two parallel branches: classification using the original imbalanced dataset and classification after applying class balancing techniques. Both branches include model training and evaluation using metrics such as accuracy, precision, recall, and F1-score. The obtained results are then compared through confusion matrix analysis and class-wise performance assessment.

The experiments were conducted on the bridge-

deck subset of the SDNET2018 dataset, containing 13,590 grayscale images with a resolution of 256×256 pixels. The dataset included 11,595 non-cracked and 1,995 cracked images, corresponding to an approximate 6:1 imbalance ratio. Images were normalized to the range [0,1] and divided into training and testing subsets using stratified 80/20 sampling.

Two experimental pipelines were implemented. In the PCA-based approach, images were flattened into

vectors and reduced to the first 50 principal components, preserving approximately 90% of variance. A dense neural network was then trained on the reduced feature space. In the CNN approach, a convolutional neural network with pooling and fully connected layers was trained directly on image tensors. Both models used the Adam optimizer and categorical cross-entropy loss. The main classification metrics obtained before and after dataset balancing are presented in Table 1.

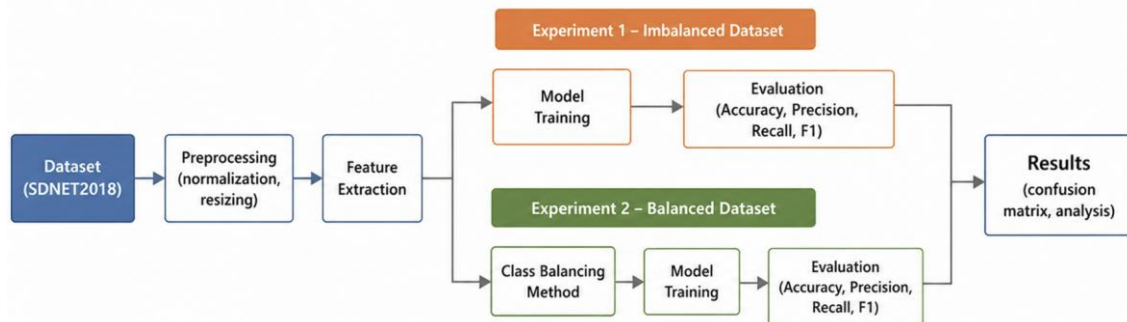


Figure 1. Experimental pipeline comparing classification performance before and after dataset balancing

Table 1 – Comparative classification results under imbalanced and balanced conditions

Model	Dataset	Accuracy	Crack Recall	Observation
PCA NN	Imbalanced	0.8543	0.14	High accuracy, poor crack detection
CNN	Imbalanced	0.8565	0.02	Strong bias toward majority class
PCA NN	Balanced	0.5938	0.49	More balanced class-wise performance
CNN	Balanced	0.5111	0.93	High crack sensitivity, unstable majority recall

The results demonstrate that high overall accuracy on the imbalanced dataset mainly reflected correct classification of non-cracked images. After balancing and resizing images to 64×64 pixels, minority-class detection improved substantially in both models. The PCA-based network achieved more stable class-wise behaviour, whereas the CNN became highly sensitive to changes in class distribution.

PCA variance analysis further explains this behaviour. The first principal component explained approximately 69.8% of variance in the original dataset, indicating that the dominant feature patterns were associated mainly with non-cracked surfaces. After balancing, the explained variance of the first component decreased to approximately 64.4%, allowing minority crack patterns to be represented more effectively.

Conclusions and future research

The study confirms that class imbalance significantly affects concrete crack classification. Although both models achieved high accuracy on the original SDNET2018 dataset, crack detection remained ineffective because the classifiers were biased toward the majority class. Dataset balancing improved crack recall in both architectures, while the PCA-based model demonstrated more stable class-wise performance.

Future work will focus on transfer learning, data augmentation, and hybrid PCA-CNN approaches for structural health monitoring.

References

1. Golewski, G. L. The phenomenon of cracking in cement concretes and reinforced concrete structures: The mechanism of cracks formation, causes of their initiation, types and places of occurrence, and methods of detection – A review // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 3.
2. Yuan, Q. A review of computer vision based crack detection methods in civil infrastructure: Progress and challenges / Q. Yuan, Y. Shi, M. Li // Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16, No. 16. – Article 2910.
3. Ali, L. Performance evaluation of deep CNN-based crack detection and localization techniques for concrete structures / L. Ali, F. Alnajjar, H. Al Jassmi et al. // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 5. – Article 1688.
4. Rajadurai, R.-S. Automated vision-based crack detection on concrete surfaces using deep learning / R.-S. Rajadurai, S.-T. Kang // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – Article 5229.
5. Mazni, M. An investigation into real-time surface crack classification and measurement for structural health monitoring using transfer learning convolutional neural networks and Otsu method / M. Mazni, A. R. Husain, M. I. Shapiai et al. // Alexandria Engineering Journal. – 2024. – Vol. 92. – P. 310–320.

УДК 004.42:37.091.33

Щербаков Сергій Григорович

Здобувач вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Рябчун Юлія Володимирівна

PhD (Eng.), доцент кафедри ІТ, orcid.org/0009-0008-0328-1123

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

2D-ГРА З ЕЛЕМЕНТАМИ КВЕСТУ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ

У роботі розглянуто процес проектування та розроблення україномовної 2D-гри LogicQuest з елементами квесту для розвитку логічного мислення учнів 12–17 років. Особливістю розробленого програмного продукту є інтеграція ігрових механік із рівнями таксономії Блума, що забезпечує поступове ускладнення когнітивних задач. Описано архітектуру системи, ключові технічні рішення та результати тестування продуктивності й функціональності гри. Практична цінність роботи полягає у створенні готового навчально-ігрового застосунку, який може використовуватись для розвитку аналітичного мислення та навичок вирішення задач.

Ключові слова: 2D-гра; Unity; логічне мислення; game development; квест; таксономія Блума; ігровий рушій; гейміфікація.

Вступ

Розвиток логічного мислення є пріоритетним завданням сучасної освіти в умовах цифрової трансформації. Традиційні методи навчання все частіше доповнюються інтерактивними засобами, серед яких особливе місце займають освітні відеоігри жанру edutainment. Дослідження Чіксентміхайї [1], Джеймса Пола Джі [2] та Піаже [3] підтверджують, що правильно спроектовані ігрові середовища стимулюють когнітивну активність і розвивають аналітичне мислення через стан «поток» - оптимального залучення.

Попри зростаючий інтерес до навчальних ігор, ринок україномовних продуктів для розвитку логіки у школярів залишається практично незаповненим. Аналіз семи ігор-аналогів (Machinarium, Monument Valley, Portal 2, The Room, Braid, Brain It On!, Limbo) виявив відсутність продукту, який одночасно задовольняв би п'ять ключових критеріїв: україномовний інтерфейс, педагогічний дизайн за таксономією Блума, орієнтація на аудиторію 12–17 років, відсутність насильства та доступність без ігрового досвіду [4].

Мета

Метою роботи є проектування та розроблення україномовної 2D-гри з елементами квесту для розвитку логічного мислення учнів шляхом використання ігрових механік, побудованих відповідно до рівнів таксономії Блума.

Аналіз існуючих рішень

Для виявлення кращих практик проаналізовано сім провідних ігор жанру: Machinarium, Monument Valley, The Room, Brain It On!, Braid, Limbo та Portal

2 - за критеріями: педагогічний потенціал, складність задач, наявність нарративу, цільова аудиторія, платформа. Спільний недолік - жодна не є україномовною і не прив'язана до таксономії навчальних цілей.

Порівняльний аналіз ігрових рушіїв наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Порівняльний аналіз ігрових рушіїв

Критерій	Unity	Godot	Unreal	GameMaker
Ліцензія	Безкоштовна	MIT	Платна	Платна
2D підтримка	Висока	Висока	Середня	Висока
C# / GDScript	C#	GDScript	C++/BP	GML
Tilemap	Так	Так	Ні	Так
Android export	Так	Так	Так	Платно
Рейтинг вибору	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆

На підставі аналізу обрано Unity 2022 LTS: безкоштовна ліцензія, розвинена 2D-підтримка (Tilemap), мова C#, кросплатформний export (Windows/Android) [4].

Основний матеріал

Концепція та архітектура гри. LogicQuest - 2D top-down квест-адвенчер із кільцевим нарративом: головний персонаж без пам'яті проходить 7 рівнів для здобуття Сфери Спогадів. Ключовою науковою новизною є авторська система відповідності ігрових механік рівням таксономії Блума [5]: рівні 1–3 розвивають знання та розуміння (пошук ключа, метод виключення), рівні 4–5 - аналіз та синтез (кодові загадки, паралельні квести), рівні 6–7 - оцінку та творче застосування (дослідження в темряві,

активація постаментів). Такий підхід відрізняє LogicQuest від існуючих аналогів, де педагогічний дизайн відсутній або не формалізований.

Архітектура реалізована на Unity 2022 LTS (C#) за сцено-орієнтованим підходом із застосуванням 5 паттернів проєктування: Singleton (менеджери рівнів), Component (розділення PlayerMovement і PlayerInteraction), Observer (тригерна система), Strategy (UniversalDoor через C# pattern matching) та State (SwitchController). Розроблено UML-документацію: діаграму класів, Component Diagram взаємозв'язків систем, Activity Diagram алгоритмів відкриття дверей і перевірки головоломки, FSM-модель NPC Клоуна з трьома станами (Idle → Talking → Running) [6].

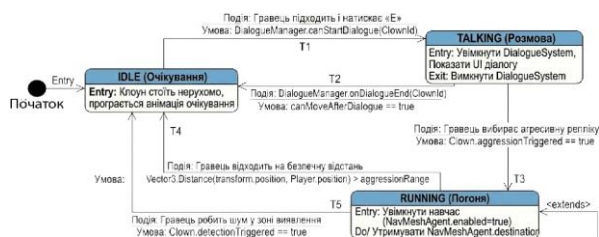


Рис. 1 - UML State Machine Diagram (FSM): поведінка NPC Клоун. Стани

Ключові технічні рішення. Серед семи рівнів три мають унікальні механіки. Рівень 3 реалізує контекстну поведінку NPC Клоуна: якщо гравець не ініціював діалог до підбору ключа - NPC демонструє одну репліку, якщо ініціював - іншу. Рівень 6 «Печера темряви» використовує Sprite Mask Unity для ефекту обмеженої видимості: клас LightFollow синхронізує позицію маски з персонажем у LateUpdate() після завершення фізичного розрахунку. Рівень 7 поєднує активацію постаментів у правильному порядку та квест із вагонеткою через CartMovement.cs по waypoints.

Система збереження прогресу базується на PlayerPrefs із принципом «зберігаємо максимум»: умова `currentLevel > savedLevel` гарантує, що повторне проходження ранніх рівнів не перезаписує прогрес. Графічний інтерфейс реалізовано через 5 UI-екранів з TextMesh Pro для коректного відображення кирилиці. Усі 7 рівнів побудовані через Unity Tilemap із тайлами 16×16 пікселів; Composite Collider 2D оптимізує фізичну геометрію стін.

Тестування проводилось за трирівневою методологією: модульне, інтеграційне та системне. Функціональне тестування охопило бтест-кейсів - усі пройшли після усунення 8 виявлених дефектів (Z-

fighting на рівні 4, подвійне спрацювання тригерів, некоректне скидання Time.timeScale). Тестування продуктивності підтвердило: 58-60 FPS на всіх рівнях, RAM 80-150 МБ, розмір білда 4 МБ [7].

Аналіз на фокус-групі з 8 учасників (учні 1312616 років) підтвердив відповідність кривої складності принципу потоку Чіксентміхайї: середній час зростає від 6 хвилин (рівень 1) до 14 хвилин (рівень 7), кількість спроб - від 1,2 до 3,8. Жоден рівень не отримав оцінки «занадто простий» або «занадто складний» від більшості учасників, що свідчить про коректно налаштовану адаптивну складність для цільової аудиторії.

Висновок

Розроблено функціонально завершений програмний продукт LogicQuest - україномовний 2D-квест для розвитку логічного мислення учнів 12–17 років. Наукова новизна полягає в авторській системі відповідності 7 ігрових механік рівням таксономії Блума. Практична цінність: готовий до розгортання навчальний інструмент для вчителів без додаткового налаштування, тривалість одного сеансу 45–90 хвилин. Перспективи розвитку: портування на Android, розширення до 10 рівнів, інтеграція з освітніми платформами, впровадження аудіосупроводу через Unity AudioMixer.

Список літератури

- [1] Csikszentmihalyi M. Flow: The Psychology of Optimal Experience. New York: Harper & Row, 1990. 303 p.
- [2] Gee J.P. What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy. New York: Palgrave Macmillan, 2003. 240 p.
- [3] Piaget J. The Psychology of Intelligence. London: Routledge, 1950. 212 p.
- [4] Schell J. The Art of Game Design: A Book of Lenses. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. 600 p.
- [5] Anderson L.W., Krathwohl D.R. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. New York: Longman, 2001. 352 p.
- [6] Nystrom R. Game Programming Patterns. Genever Benning, 2014. 345 p. URL: <https://gameprogrammingpatterns.com>.
- [7] Myers G.J., Sandler C., Badgett T. The Art of Software Testing. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2011. 240 p.

УДК 004.94:628.2

Гук Олександр

Аспірант кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, ORCID: 0009-0006-8094-2680
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків,
вул. Чорноглазівська, 17, 61002, Україна

Кабусь Олексій

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник НДЧ, ORCID: 0000-0002-2940-0513
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків,
вул. Чорноглазівська, 17, 61002, Україна

ПІДХОДИ ДО ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ BIM-ОБ'ЄКТІВ СПОРУД КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Анотація. Вступ. Розглянуто проблему недостатньої стандартизації параметричного наповнення BIM-об'єктів каналізаційної інфраструктури, що ускладнює їх використання на етапах експлуатації, моніторингу та актуалізації даних. Результати дослідження. Запропоновано структуру параметрів для шаблонного BIM-об'єкта каналізаційного колодязя з урахуванням підходів OpenBIM та концепції LOIN. У роботі сформовано групи параметрів BIM-об'єкта, що охоплюють ідентифікаційні, геометричні, матеріальні, експлуатаційні та сервісні характеристики конструкції. Виконано структурування параметрів для окремих елементів колодязя та розглянуто можливість їх подальшого експорту у форматі IFC. Висновки. Отримані результати можуть бути використані при формуванні відкритих бібліотек BIM-об'єктів та подальшій інтеграції моделей з цифровими платформами.

Ключові слова: BIM; OpenBIM; IFC; LOIN; bsDD; параметризація BIM-об'єктів; каналізаційний колодязь; каналізаційні мережі.

Постановка проблеми

У сучасних умовах актуальним є питання підтримання та актуалізації даних щодо технічного стану інженерних мереж міської інфраструктури, значна частина яких має вичерпаний експлуатаційний ресурс. Із розвитком технологій відкритого обміну даними (OpenBIM) зростають вимоги не лише до геометричного представлення об'єктів, а й до наповнення BIM-моделей параметричною інформацією [1–4]. Наявні BIM-моделі інженерних мереж переважно використовуються при розробленні проєктної документації та не містять достатньої інформації щодо технічних характеристик, матеріалів, експлуатації та ремонту споруд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Параметризація BIM-об'єктів є важливою складовою інформаційного моделювання інженерної інфраструктури та забезпечує структуроване представлення даних про об'єкт протягом його життєвого циклу [5–7]. Залежно від завдань використання моделі параметри можуть містити геометричні характеристики, дані щодо матеріалів, умов експлуатації та технічного обслуговування. Відповідно до концепції LOIN склад і деталізація

параметрів повинні змінюватися залежно від стадії життєвого циклу об'єкта.

Ключовим інструментом взаємодії між різними BIM-платформами та базами даних є підходи OpenBIM і формат IFC, який забезпечує стандартизований обмін інформацією між програмними комплексами [3; 7]. Для перевірки інформаційного наповнення моделей можуть використовуватися IDS-специфікації, а для уніфікації параметрів – словники buildingSMART Data Dictionary (bsDD) [4].

Мета статті

Метою дослідження є формування підходу до параметризації BIM-об'єктів споруд каналізаційної інфраструктури на прикладі каналізаційного колодязя для створення стандартизованого шаблону з можливістю експорту моделі у формат IFC.

Виклад основного матеріалу

У якості базового прикладу для формування структури параметрів BIM-об'єктів розглянуто каналізаційний колодязь, модель якого використовується для відпрацювання підходів до параметризації об'єктів каналізаційної інфраструктури. Колодязь включає окремі конструктивні елементи, що формують ієрархічну

структуру моделі та містять як власні параметри, так і загальні характеристики об'єкта. До таких параметрів належать геометричні характеристики елементів, дані щодо матеріалів, умов експлуатації та параметри обслуговування об'єкта (рис. 1).

На основі сформованої структури параметрів виконується перевірка коректності передачі даних при експорті моделі у формат IFC та подальшому

використанні в інших програмних комплексах. Це дозволяє оцінити можливість автоматизованого зчитування параметрів і подальшого використання ВІМ-моделей на різних етапах життєвого циклу об'єктів інженерної інфраструктури [3, 7].

col.Name	col.Value	txt_unit
Element Specific		
Guid	08HnGX30z41PaePRk9xeD	
IfcEntity	IfcDistributionChamberElement	
Name	Structural Foundations : Manhole_Main : Manhole_Main	
ObjectType	Manhole_Main:Manhole_Main	
PredefinedType	MANHOLE	
Tag	1671411	
Constraints		
Height Offset From Level	0	mm
Host	Level : L1	
Level	L1	
Moves With Grids	txt.yes	
Dimensions		
Ніз колодязя	2 320	mm
Dimensions		
Area	5.056575	m2
Elevation at Bottom	-2 469.693516	mm
Elevation at Bottom Survey	-2 469.693516	mm
Elevation at Top	0	mm
Elevation at Top Survey	0	mm
Phasing		
Phase Created	New Construction	
Pset_DistributionChamberElementCommon		
Reference	Manhole_Main	
Pset_EnvironmentalImpactIndicators		
Reference	Manhole_Main	
Qto_BodyGeometryValidation		
NetSurfaceArea	28.010686	m2
NetVolume	1.256285	m3
Qto_DistributionChamberElementBaseQuantities		
NetSurfaceArea	28.010686	m2
NetVolume	1.256285	m3
Structural		
Rebar Cover - Bottom Face	Interior (framing, columns) <40>	
Rebar Cover - Other Faces	Interior (framing, columns) <40>	
Rebar Cover - Top Face	Interior (framing, columns) <40>	

Рисунок 1 – Вікно параметрів ВІМ-об'єкта каналізаційного колодязя

Висновки

Сформовано структуру параметрів ВІМ-об'єкта каналізаційного колодязя з урахуванням можливості подальшого експорту у форматі IFC та використання в різних програмних комплексах. Для окремих елементів моделі визначено групи параметрів, що стосуються геометричних характеристик, матеріалів, умов експлуатації та обслуговування конструкцій. Виконано попередню перевірку коректності передачі параметрів між ВІМ-середовищами та оцінено можливість автоматизованого зчитування інформації після експорту моделі.

Список літератури

- 1.A smart sewer asset information model to enable an 'Internet of Things' for operational wastewater management / V. Edmondson et al. *Automation in construction*. 2018. Vol. 91. P. 193–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.003>.
- 2.A systematic review of service reliability in urban sewer systems: from failure analysis to preventive management / J. Yang et al. *Reliability engineering & system safety*. 2025. P. 112025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.112025>.

- 3.Aydın M. Analyzing the impact of ISO 16739-1:2024 (industry foundation classes, IFC) on data sharing and building information modeling (BIM) collaboration in the construction industry. *Mimarlık bilimleri ve uygulamaları dergisi (MBUD)*. 2025. Vol. 10, no. 1. P. 157–174. URL: <https://doi.org/10.30785/mbud.1609588>.
- 4.BIM–FM interoperability through open standards: a critical literature review / M. Chatsuwan et al. *Architecture*. 2025. Vol. 5, no. 3. P. 74. URL: <https://doi.org/10.3390/architecture5030074>.
- 5.Digital twin applications in the water sector: a review / P. Ghorbani Bam et al. *Water*. 2025. Vol. 17, no. 20. P. 2957. URL: <https://doi.org/10.3390/w17202957>.
- 6.Digital-Twin-Based management of sewer systems: research strategy for the KaSyTwin Project / S. Hartmann et al. *Water*. 2025. Vol. 17, no. 3. P. 299. URL: <https://doi.org/10.3390/w17030299>.
- 7.IFC framework for inspection and maintenance representation in facility management / F. G. Bellon et al. *Automation in construction*. 2025. Vol. 174. P. 106157. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106157>.

УДК 004.94:69.003:504.064

Мішук Катерина

Доцент, кандидат технічних наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-5480-6032>

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізький національний університет, проспект Соборний, 226, 69000, Україна

Кузнєцов Владислав

Здобувач вищої освіти бакалаврського рівня IV курсу, <https://orcid.org/0009-0002-6152-4409>

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізький національний університет, проспект Соборний, 226, 69000, Україна

ІННОВАЦІЙНІ ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ОЦІНКИ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ БУДІВЕЛЬ

Анотація. Відповідно до сучасних умов декарбонізації будівельної галузі особливої актуальності набуває проблема оцінки вуглецевого сліду будівель на всіх етапах їх життєвого циклу. Значне зростання обсягів енергоспоживання та викидів CO₂ у будівництві зумовлює необхідність впровадження цифрових технологій для моніторингу, аналізу та прогнозування екологічного впливу будівель. Зокрема, у роботі було досліджено сучасні цифрові інструменти оцінювання вуглецевого сліду, зокрема BIM, Digital Twin, IoT, AI та системи Life Cycle Assessment (LCA). Було проаналізовано принципи інтеграції цифрових платформ у систему екологічного менеджменту будівель. Встановлено, що використання BIM та Digital Twin забезпечує автоматизацію процесів збору та аналізу даних щодо енергоспоживання й викидів CO₂. Визначено переваги застосування штучного інтелекту та IoT для оперативного моніторингу екологічних характеристик будівель. Обґрунтовано доцільність інтеграції LCA-моделей із цифровими двійниками для оцінювання вуглецевого сліду в реальному часі. Доведено, що цифрові технології є ефективним інструментом підвищення енергоефективності та зменшення екологічного впливу будівель. Перспективним напрямом розвитку є створення інтегрованих цифрових платформ управління життєвим циклом будівель на основі BIM, AI та Digital Twin для підтримки концепції сталого розвитку та Smart City [1].

Ключові слова: BIM; Digital Twin; вуглецевий слід; декарбонізація; Life Cycle Assessment; цифрові технології; Smart Building; IoT; штучний інтелект; енергоефективність.

Постановка проблеми

Будівельна галузь – один із найбільших споживачів енергоресурсів та джерел викидів парникових газів у світі (за сучасними оцінками, частка будівельного сектору в структурі глобальних викидів CO₂ складає близько 39%), що обумовлює необхідність впровадження інноваційних підходів до оцінювання екологічного впливу будівель [2].

Наразі, традиційні підходи оцінки вуглецевого сліду будівель мають низку обмежень (складність обробки даних, їх фрагментарність та брак можливостей для оперативного моніторингу параметрів експлуатації будівель). Відповідно до цього, у контексті впровадження концепцій Smart City та Construction 4.0, пріоритетного значення набуває застосування цифрових технологій, які дають змогу автоматизувати аналіз екологічних показників будівель у режимі реального часу.

Практичне значення проблеми полягає у необхідності розробки цифрових систем управління життєвим циклом будівель, які сприятимуть раціоналізації енергоспоживання, зниженню викидів CO₂ та забезпеченню відповідності міжнародним стандартам сталого розвитку. Для України ця

проблема є досить актуальною у контексті поствоєнної відбудови та впровадження принципів «зеленої» урбаністики у процесах реконструкції міських територій.

Аналіз останніх досліджень

Проблема процесу цифровізації оцінювання вуглецевого сліду будівель активно досліджується в сучасній науковій літературі. Значна кількість робіт присвячена інтеграції BIM та систем Life Cycle Assessment для автоматизації екологічного аналізу будівель, зокрема, Chen C. та інші запропонували концептуальну модель оцінювання кількості втіленого вуглецю на основі BIM та Digital Twin із використанням LCA-підходу [1].

У роботах останніх років особлива увага приділяється розвитку Digital Twin як інструменту динамічного екологічного моніторингу. Так, праця Petri I. та інших зосереджена на процесі інтеграції Digital Twin, IoT та машинного навчання для оцінки екологічного впливу будівель у реальному часі [3]. Albelwi N. розробив структуру оцінки життєвого циклу на основі цифрових двійників (DT-LCAF), що інтегрує BIM, системи IoT та машинне навчання [2]. Shen K. досліджує інтеграцію BIM і Digital Twin для

підтримки концепції Net-Zero Carbon Buildings протягом усього життєвого циклу будівлі [4].

Так, аналіз літератури свідчить, що питання комплексної інтеграції BIM, AI, IoT та LCA у єдину систему для автоматизованої оцінки вуглецевого сліду будівель потребує подальших досліджень.

Формулювання мети статті

Мета роботи – дослідження цифрових систем оцінювання вуглецевого сліду будівель та визначення перспектив інтеграції BIM, Digital Twin, IoT, AI і LCA у системи управління життєвим циклом будівель для підвищення енергоефективності та зменшення екологічного впливу будівельної галузі.

Для досягнення мети було визначено завдання: визначення сучасних цифрових технологій оцінки вуглецевого сліду; аналіз особливостей інтеграції BIM і LCA; аналіз можливості застосування Digital Twin для моніторингу викидів CO₂; оцінка ролі AI й IoT у цифровізації екологічного аналізу будівель; визначення перспектив розвитку інтелектуальних систем управління життєвим циклом будівель.

Виклад основного матеріалу

Сучасні аспекти розвитку будівельної галузі вирізняються активним впровадженням цифрових технологій, що спрямовані на зниження екологічного навантаження й підвищення енергоефективності. Одним із ключових напрямів є використання BIM, що дозволяє інтегрувати дані щодо матеріалів, конструктивних рішень, енергоспоживання та експлуатаційних характеристик у єдину цифрову систему, що в поєднанні із LCA здатне забезпечити автоматизоване визначення вуглецевого сліду будівлі ще на етапі проектування об'єкта [1].

Ще одним важливим етапом розвитку цифровізації стало застосування технології Digital Twin, яка функціонує як динамічна система, що постійно оновлюється на основі даних із сенсорних мереж та IoT-пристроїв та дозволяє здійснювати безперервний моніторинг технічного стану конструкцій, енергоспоживання, температурних режимів та рівня викидів CO₂ [3].

Застосування AI та машинного навчання також є перспективним напрямком для прогнозування екологічних показників будівель, так як нейромережеві алгоритми здатні аналізувати великі масиви даних та формувати сценарії оптимізації енергоспоживання, що формує ряд можливостей для предиктивного управління будівлями та зменшення експлуатаційних витрат [2].

IoT-технології, що забезпечують збір даних про споживання енергії, якість повітря, рівень

освітлення, температуру із сенсорних систем у реальному часі та надсилають до цифрових платформ моніторингу для автоматизованого аналізу екологічних параметрів будівлі, також виступають важливим елементом цифровізації [3].

Загалом, інтеграція BIM, Digital Twin, AI та IoT створює основу для формування інтелектуальних систем управління життєвим циклом будівель, що дозволяють здійснювати комплексний екологічний аналіз, прогнозувати енергетичні показники та оптимізувати використання ресурсів.

Висновки

У результаті дослідження було встановлено, що цифрові технології є ефективним інструментом оцінювання та зниження вуглецевого сліду будівель. Використання BIM, Digital Twin, AI, IoT та LCA забезпечує автоматизацію процесів збору, аналізу й прогнозування екологічних показників протягом усього життєвого циклу будівлі.

Було визначено, що найбільш перспективним напрямом є створення інтегрованих цифрових платформ управління будівлями, здатних функціонувати в режимі реального часу. Особливу актуальність такі технології мають для післявоєнної відбудови України, де важливим є впровадження енергоефективних та екологічно безпечних рішень.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на: розробку AI-алгоритмів для прогнозування вуглецевого сліду; інтеграцію Digital Twin із GIS-системами; створення автоматизованих платформ екологічного моніторингу міської інфраструктури; удосконалення методів оцінки життєвого циклу будівель у Smart City-середовищі [2].

Список літератури

- 1.Chen C. et al. A Conceptual Framework for Estimating Building Embodied Carbon Based on Digital Twin Technology and Life Cycle Assessment. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 24. P. 13875. URL: <https://doi.org/10.3390/su132413875>
- 2.Albelwi N. DT-LCAF: Digital Twin-Enabled Life Cycle Assessment Framework for Real-Time Embodied Carbon Optimization in Smart Building Construction. *Sustainability*. 2026. Vol. 18, № 5. P. 2321. URL: <https://doi.org/10.3390/su18052321>
- 3.Petri I. et al. Digital twins for dynamic life cycle assessment in the built environment. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 993. P. 179930. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179930>
- 4.Shen K., Ding L., Wang C. C. Development of a Framework to Support Whole-Life-Cycle Net-Zero-Carbon Buildings through Integration of Building Information Modelling and Digital Twins. *Buildings*. 2022. Vol. 12, № 10. P. 1747. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12101747>

Самцов Павлоздобувач вищої освіти, orcid.org/0009-0009-4739-3546

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Саченко Ілляк.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0000-0002-3716-0249

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ МЕТОД ТРИВИМІРНОГО ЗІСТАВЛЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНИХ СТРУКТУР З УРАХУВАННЯМ КОНФОРМАЦІЙНОЇ ГНУЧКОСТІ

У роботі розглядається задача тривимірного наближеного зіставлення молекулярних структур з урахуванням конформаційної гнучкості. Попередня наукова робота автора встановила, що генетичний алгоритм з операторами обмеженого пошуку (Bucket PMX, Bucket Smart Mutation) ефективно вирішує задачу Error-Tolerant Graph Matching на 2D-молекулярних графах. У роботі запропоновано розширення методу до тривимірного простору шляхом включення просторових координат атомів у функцію пристосованості та розробки механізму динамічного обліку конформаційних ансамблів. Запропонований підхід забезпечує «м'яку» оцінку структурної подібності молекул з різними просторовими конфігураціями без необхідності їх попереднього вирівнювання.

Ключові слова: хемоінформатика; молекулярний граф; конформаційна гнучкість; тривимірне зіставлення; генетичний алгоритм; RMSD; Error-Tolerant Matching; віртуальний скринінг.

Вступ

Задача структурного зіставлення молекул є фундаментальною у комп'ютерному конструюванні ліків (CADD). Сучасні бази даних хімічних сполук — PubChem, ZINC15, Enamine REAL — містять сотні мільйонів структур, серед яких необхідно знаходити функціонально подібні молекули для задач віртуального скринінгу та Drug Discovery [1].

Традиційні підходи до зіставлення, що ґрунтуються на топологічних графах (2D), ігнорують просторову будову молекул. Між тим, у біохімічних задачах ліганд взаємодіє з активним центром білка передусім через тривимірну конфігурацію: дві молекули з однаковою топологією, але різними конформаціями, можуть мати принципово відмінну фармакологічну активність [2].

Окремою складністю є конформаційна гнучкість — здатність молекули існувати в багатьох просторових формах (конформерах). Задача зіставлення полягає не в порівнянні двох фіксованих 3D-структур, а у пошуку найкращої відповідності між конформаційними ансамблями двох молекул — проблема, значно складніша за класичний ізоморфізм графів.

Аналіз останніх досліджень

Існуючі методи тривимірного зіставлення молекул поділяються на два класи: методи суперпозиції (SuperImposition), що вимагають попереднього просторового вирівнювання структур [3], та методи, інваріантні до вирівнювання

(Alignment-Free), що оперують внутрішніми дескрипторами — матрицями відстаней, кутами торсії, фармакоформними ознаками [4].

Попередня робота автора [5] показала, що генетичний алгоритм з операторами Bucket PMX та Bucket Smart Mutation демонструє поліноміальну емпіричну складність $O(n^{1.8})$ та успішність 99.5% на датасеті OGB-HIV при 2D-зіставленні молекулярних графів. Стрес-тестування підтвердило лінійну залежність між рівнем структурного шуму та вартістю рішення — властивість «м'якої» деградації, відсутня в детермінованих методах (VF2).

Методи глибокого навчання (EquiBind, DiffDock) [6] досягають високої точності докінгу, проте є «чорними скриньками», вимагають великих навчальних наборів та не надають інтерпретованої міри структурної подібності. Еволюційний підхід зберігає інтерпретованість і гнучкість налаштування функції вартості.

Мета

Метою роботи є розробка еволюційного методу тривимірного зіставлення молекулярних структур, що: (1) розширює 2D-атрибутивний граф просторовими координатами атомів; (2) включає в функцію пристосованості RMSD-складову для оцінки просторового відхилення; (3) враховує конформаційну гнучкість шляхом динамічного обліку.

Виклад основного матеріалу

Запропонований метод базується на розширеній

моделі атрибутивного 3D-графу $G = (V, E, L, P)$, де V — множина вершин (атомів), E — множина ребер (зв'язків), L — функція міток типів атомів, $P: V \rightarrow \mathbb{R}^3$ — функція просторових координат. Задача зіставлення молекул G_q та G_t формулюється як пошук ін'єктивного відображення $\pi: V_q \rightarrow V_t$, що мінімізує розширену функцію вартості:

$$F(\pi) = \alpha \cdot C_{\text{topo}}(\pi) + \beta \cdot C_{\text{3D}}(\pi)$$

де $C_{\text{topo}}(\pi)$ — топологічна компонента (нормована кількість незіставлених зв'язків), $C_{\text{3D}}(\pi)$ — просторова компонента на основі RMSD між координатами зіставлених атомів після оптимального вирівнювання (алгоритм Кабша). Коефіцієнти α та β регулюють відносний внесок топологічної і геометричної складових.

Конформаційна гнучкість обробляється через ансамблеву стратегію: для кожної молекули генерується набір конформерів за допомогою алгоритму ETKDG (RDKit). Оцінка відображення π

проводиться проти найближчого конформера цільової молекули, що обирається динамічно на кожному кроці — без попереднього вибору «правильного» конформера.

Генетичні оператори Bucket PMX та Bucket Smart Mutation зберігаються без змін: семантичні обмеження типів атомів (valid-by-construction) залишаються актуальними і в 3D-просторі. Механізм Delta Evaluation адаптується для інкрементального оновлення RMSD-складової, забезпечуючи складність $O(k)$ замість $O(n)$ на кожному кроці оцінювання.

Архітектура запропонованого методу поєднує топологічне зіставлення молекулярних графів із просторовою оцінкою конфігурацій через RMSD-компоненту та ансамблеву модель конформерів. Узагальнену схему роботи алгоритму наведено на рис. 1.

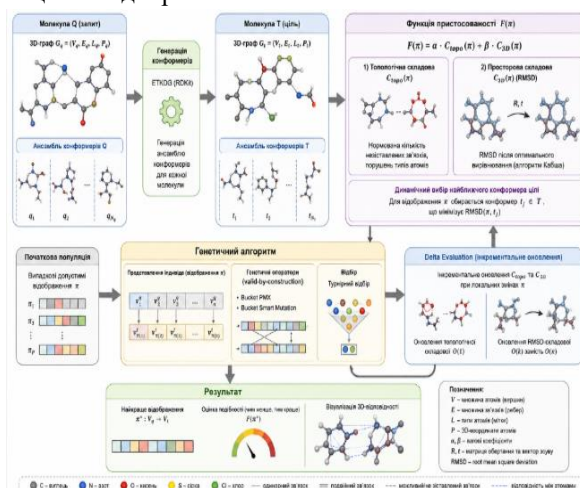


Рисунок 1 - Архітектура еволюційного методу 3D-зіставлення молекулярних структур

Висновки

У роботі запропоновано архітектуру еволюційного методу тривимірного зіставлення молекулярних структур з урахуванням конформаційної гнучкості. Метод є органічним розширенням верифікованого 2D-алгоритму: зберігаються властивості valid-by-construction операторів, поліноміальна масштабованість та «м'яка» деградація результату. Ансамблева стратегія обліку конформерів вирішує задачу зіставлення без фіксації конкретної просторової конфігурації молекули, що критично важливо для застосувань у віртуальному скринінгу. Подальші дослідження передбачають експериментальну валідацію на датасеті PDBbind та порівняння з методами EquiBind і OMEGA.

Список інформаційних джерел

[1] Gasteiger J., Engel T. Chemoinformatics: A Textbook. Weinheim : Wiley-VCH, 2003. 662 p.

[2] Leach A. R. Molecular Modelling: Principles and Applications. 2nd ed. Harlow : Pearson, 2001. 744 p.

[3] Lemmen C., Lengauer T. Computational methods for the structural alignment of molecules. J. Comput. Aided Mol. Des. 2000. Vol. 14, No. 3. P. 215–232.

[4] Ballester P. J., Richards W. G. Ultrafast shape recognition to search molecular databases for similar molecular shapes. J. Comput. Chem. 2007. Vol. 28, No. 10. P. 1711–1723.

[5] Самцов П. О. Генетичний алгоритм для стійкого до похибок зіставлення молекулярних графів. Scientific Discussion. 2026. № 109. С. 9.

[6] Stark H. et al. EquiBind: Geometric Deep Learning for Drug Binding Structure Prediction. Proc. ICLR. 2022. P. 20503–20521.

УДК 378.14+303.164

Коротких Юлія

старший викладач кафедри інформаційних технологій проєктування і прикладної математики,
ORCID: 0000-0002-9905-8151

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, пр. Повітряних Сил, 31, 03037

Забарило Павло

аспірант кафедри архітектурних конструкцій, ORCID: 0009-0003-7712-3674

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, пр. Повітряних Сил, 31, 03037

НЕОБХІДНІСТЬ ЗАЛУЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ

Анотація: в даному повідомленні описано важливість, необхідність та шляхи застосування певних видів освітніх інформаційних технологій при викладанні базового курсу вищої математики студентам інженерно-технічних спеціальностей. Розглядаються деякі напрямки використання інформаційних та комунікаційних технологій з залученням мережевих засобів та пакетів доступних прикладних програм для більш якісного та ефективного засвоєння студентами технічних спеціальностей базового курсу вищої математики як невід'ємної частини сучасної інженерно-технічної освіти.

Ключові слова: інформаційні технології; вища математика; методи викладання.

Вступ

Курс вищої математики в технічному вузі є фундаментом математичної підготовки майбутнього спеціаліста, що здійснюється з ціллю розвинути аналітичне, логічне та алгоритмічне мислення здобувача, забезпечити його методами дослідження, аналізу та моделювання процесів, явищ і пристроїв, а також сучасними методами обробки і аналізу результатів практичних та чисельних експериментів. На теперішньому етапі неможливо задовольнити все більше зростаючим вимогам до рівня підготовки випускника технічного вузу для самостійної професійної діяльності без використання інформаційних комп'ютерних технологій при викладанні більшості дисциплін, насамперед фундаментального характеру. Вочевидь, залучення та використання інформаційних технологій в навчанні та освіті студентів не повинно мати епізодичний характер, але бути систематичним з перших днів навчання.

Мета

Незадоволеність суспільства якістю освіти вимагає розробки нових підходів до навчання. Зміна умов життя суспільства неминує викликає вдосконалення освітніх концепцій. Сучасний етап розвитку освіти характеризується якісними змінами його змісту, структури, впровадженням в освітній процес нових педагогічних технологій. При цьому важлива роль в реформуванні освіти відводиться розвиненому процесу інформатизації, який дозволяє широко використовувати інформаційні технології.

Основна частина

Традиційними методами навчання являються проведення лекційних, практичних і лабораторних занять. Водночас, сучасне уявлення про якісну освіту включає як необхідний елемент і вільне володіння інформаційними технологіями. Застосування інформаційних технологій допомагає підвищити рівень викладання, забезпечує контроль, наочність, несе більший об'єм інформації, являється стимулом в навчанні. Використання інформаційних технологій в вивченні вищої математики сприяє підвищенню рівня викладання курсу, дозволяє забезпечити оперативний контроль і моніторинг за успішністю здобувачів, надає доступ до різних баз даних математичних знань, а також багато іншого.

Основними інструментами викладання вищої математики з залученням інформаційних технологій являються мультимедійні презентації, що містять текст учбового матеріалу, формули, графіки, діаграми, анімація, відео та звукові ефекти, програми-тренажери. Дані складові інформаційних технологій дозволяють раціонально організовувати процес учбового заняття, підвищити наочність та насиченість лекційного матеріалу, активізувати навчально-пізнавальну діяльність студентів. Окрім того, сам процес навчання стає інтерактивним, творчим і орієнтованим на студента [1].

Цінністю мультимедійних презентацій, а також програм-тренажерів, контролюючих та навчальних комп'ютерних програм, являється ефективна демонстрація креслень, схем, рисунків, оптимізація і економія навчального часу, а також краще

запам'ятовування і засвоєння студентами учбово-практичного матеріалу.

Застосування інформаційних технологій сприяє розвитку нових педагогічних методів та прийомів, пом'якшує перехід від традиційних до інтерактивних способів навчання, а також веде до розширення диверсифікації математичних задач, що розв'язуються. Спеціалісти в галузі інформаційних технологій стверджують, що запровадження нових комп'ютерних технологій в освітній процес дозволяє підвищити ефективність вивчення спеціалізованих дисциплін, в середньому на 30%.

З іншого боку, необхідними умовами підвищення якості математичної підготовки студентів технічних спеціальностей є інтенсифікація, професійна орієнтованість занять та належна організація самостійної роботи студентів.

При формуванні творчої активності майбутніх інженерів ефективним являється дослідження та розв'язання професійно орієнтованих задач, в яких реалізуються інтегративні зв'язки математичних та спеціальних знань. Комплекс професійно орієнтованих задач необхідно поступово вводити в навчальний курс вищої математики по мірі проходження тем курсу вищої математики і вивчення студентами спеціальних дисциплін їх майбутнього профілю. На наш погляд, саме під час аудиторних занять закладається той фундамент, на якому в подальшому формуються вміння та навички самостійної роботи, розвиваються творчі задатки студентів [2]. І знову ж таки, вдале поєднання традиційних методів навчання з сучасними можливостями інформаційних технологій дозволяє реалізовувати вищезгадані задачі найбільш оптимальним та ефективним способом.

Нестача навчального часу на аудиторних заняттях актуалізує проблему найбільш раціонального його використання, а, значить, висуває ряд підвищених вимог до змісту навчальних задач, їх компоновки, професійної спрямованості. Природно, при опрацюванні викладеного матеріалу, у студентів виникає потреба в комунікації з викладачем чи іншими студентами в позааудиторний час. Сучасні інформаційні технології легко вирішують цю проблему.

Для вищої математики з її канонічною структурою та змістом шлях систематичного використання інформаційних технологій представляється єдино правильним. Внаслідок цього постає питання про форми комп'ютерної підтримки, розробку власних програмних засобів, що, як відомо, потребує значних матеріальних та часових ресурсів і,

як правило, приводить до появи великої кількості різноманітних по стилю, не пов'язаних одна з одною навчальних програм для розв'язання окремих вузьких питань тої чи іншої теми. Спільним недоліком більшості таких програм є використання лише найпростіших можливостей комп'ютера та вузькі рамки реалізованих алгоритмів, які не дозволяють студенту творчо розв'язувати задачі, а тому недостатньо реалізують і розвивають його інтелектуальний потенціал.

Принципово інший підхід полягає в наступному – створювати навчальні середовища на базі відомих математичних пакетів, що дозволяє зосередити зусилля на методичному змісті відповідної предметної області. Окрім цієї головної переваги варто відмітити і той факт, що при такому підході не передбачається особливих вимог до попередньої комп'ютерної підготовки як студента, так і викладача. Наприклад, на сьогодні аналогічна робота виконується в середовищі пакетів Mathematica та MATLAB [3,4]. Існують і інші.

Висновки

Як бачимо, впровадження інформаційних технологій в освітній процес надає переваги не тільки для студентів, але і для викладачів як фундаментальних, так і спеціалізованих дисциплін. Завдяки розвитку інформаційних технологій викладач може реалізовувати найновіші педагогічні ідеї, ділитися ними з колегами, та отримувати на них відповідні рецензії та відгуки. Окрім того, доступнішим стає вибір освітньої траєкторії, дослідницьким тем, систем тренувальних завдань і задач, методів контролю засвоєння матеріалу та багато іншого.

Список літератури

- 1.Триус Ю.В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання математики. Черкаси: Брама-Україна, 2005. 400 ст.
- 2.Ройко Л.Л., Ройко О.О. Застосування інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні вищої математики для студентів нематематичних спеціальностей. Луцьк: Математика. Інформаційні технології. Освіта., № 6., 2019. ст. 89-94.
- 3.Сидоренко О.О. Mathematica: Теорія та практика. Київ: Наукова думка, 2020. 400 ст.
- 4.Бабій М.Ю. MATLAB для студентів технічних спеціальностей. Львів: Видавництво ЛНУ ім. Івана Франка, 2021. 220 ст.

UDC 666.97:621.753.4

Sliusar Volodymyr

Ph.D. , assistant; ORCID: 0000-0003-4332-3144

Kyiv National University of Construction and Architecture Povitrianykh Syl ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037

Smilovsky Serhiy

student of department BM

Kyiv National University of Construction and Architecture Povitrianykh Syl ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037

OSCILLATION SYSTEM PARAMETER OPTIMISATION AS A TOOL FOR MANAGING IMPACT-VIBRATION FORMING TECHNOLOGY OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

Abstract. *Introduction. Improving the efficiency of reinforced concrete product manufacturing requires advancement of concrete mix compaction processes and a transition from conventional rigid mould clamping to flexible impact-vibration systems. Targeted optimisation of oscillation system parameters is a promising direction for the development of these technologies. Research results. An experimental study of impact-vibration compaction of concrete mixes in freely-mounted moulds on a vibration platform was conducted. It was established that increasing elastic pad stiffness from 3.52×10^6 to 13.4×10^6 N/m raises the frequency of stable mould-to-table impacts by an average factor of 1.75. Dependencies of mould acceleration on the mass ratio M_1/M_2 and the static imbalance moment K were determined. Conclusions. Deliberate adjustment of oscillation system parameters makes it possible to form an optimal spectrum of impact and vibration pulses, reduce the metal intensity of equipment, and create prerequisites for introducing automated process control.*

Keywords: *impact-vibration forming; reinforced concrete products; oscillation system; pad stiffness; vibration platform; parameter optimisation; process control.*

Problem statement

Production of reinforced concrete products with high density and structural uniformity remains a priority for the construction industry. Conventional technologies rely on rigid mould clamping to the vibrating table, which results in high metal intensity, unreliable fastening elements, and limited control over the vibration frequency spectrum. An alternative is the impact-vibration method with moulds freely mounted on elastic elements, where mould-to-table collisions generate additional impact pulses in the concrete mix [1, 2].

The relevance of the topic is reinforced by global Industry 4.0 trends: digitalisation of manufacturing processes and deployment of IoT sensor systems for real-time monitoring and process control [4, 5]. Scientifically grounded selection of oscillation system parameters is an essential foundation for further automation of such processes.

Literature review

The theoretical basis for impact-vibration compaction and the analysis of vibration equipment for forming reinforced concrete products are presented in the works of Nazarenko I.I., Dedov O.P., and Diachenko O.S. [1, 2]. These authors systematised

design solutions for vibration units and demonstrated that planetary pneumatic vibration exciters generate a higher specific excitation force per unit mass compared with electric counterparts. The influence of vibration parameters (frequency, amplitude, duration) on concrete mix compaction has been addressed in international studies [3–5]. In particular, Pințoi et al. [3] analytically and experimentally confirmed that concrete stiffness and viscosity together with oscillation frequency determine the effective compaction threshold; Ma et al. [4] proposed a vibrator state classification method based on acceleration signals with 97% accuracy, which underpins automated quality monitoring systems.

Nonetheless, practical quantitative relationships between the structural parameters of the "vibrating table – elastic element – mould" system and the compaction modes under impact interaction, as well as a methodology for their application in process control, require further development.

Research objective

The aim of the work is to establish quantitative relationships between the parameters of the oscillation system "vibrating table – elastic element – mould with concrete mix" and the characteristics of the impact-vibration forming mode, in order to provide a

scientifically grounded basis for managing the reinforced concrete manufacturing process.

Main research content

Experiments were carried out using a vibration platform with a load capacity of 1.2 t. Concrete mixes were compacted in moulds of 10×10×10 cm, 20×20×20 cm, and 450×450×900 mm, freely mounted on the platform via rubber pads of varying stiffness. The pad stiffness coefficient C was determined by the formula:

$$C = E \cdot S / h, \quad (1)$$

where E is the dynamic elastic modulus of the pad material, Pa; S is the bearing area, m²; h is the pad thickness, m. The stiffness range tested was $3.52 \times 10^6 \dots 13.4 \times 10^6$ N/m. The required bearing area of the pads was determined from the design stiffness, dynamic elastic modulus, and selected thickness:

$$S = C \cdot h / E. \quad (2)$$

Oscillograms of mould and vibrating table motion were recorded using holographic interferometry; mould accelerations were additionally measured for various system parameter combinations.

The influence of pad stiffness on vibration frequency was studied at a fixed mould mass $M_1 = 900$ kg. It was found that increasing stiffness from 3.52×10^6 to 13.4×10^6 N/m raises the frequency of stable mould-to-table impacts by an average factor of 1.75, regardless of the static imbalance moment K . This demonstrates the high sensitivity of the oscillatory mode to the elastic properties of the separating element.

The effect of the mass ratio M_1/M_2 (ranging from 0.4 to 2.0) on mould impact acceleration A_g was studied at a fixed pad stiffness $C = 1.7 \times 10^6$ N/m. For static imbalance moments $K = 3.52 \dots 13.4 \times 10^3$ N·m, the following was established:

- at $M_1/M_2 = 2$: $A_g = 4.5 \dots 9$ g;
- at $M_1/M_2 = 1$: $A_g = 7 \dots 11$ g;
- at $M_1/M_2 = 0.4$ (lightweight moulds): $A_g > 11$ g.

Consequently, reducing the relative mould mass and increasing the static imbalance moment are effective means of intensifying the impact effect on the concrete mix. By varying pad stiffness and the static imbalance moment, the collision frequency and the transmitted impulse spectrum can be deliberately controlled, thereby forming an optimal compaction mode for a specific product type.

The established dependencies provide a basis for developing automated control algorithms for vibration

equipment parameters. Equipping modern vibrating tables with acceleration and frequency sensors combined with adaptive controllers enables the concept of a "digital twin" of the technological process, ensuring reproducible compaction modes in compliance with quality standards.

Conclusions

1. Increasing the elastic pad stiffness of the "vibrating table – pad – mould" system from 3.52×10^6 to 13.4×10^6 N/m raises the stable impact frequency by an average factor of 1.75, enabling control over the spectrum of vibration effects on the concrete mix.

2. The optimal mould-to-table mass ratio $M_1/M_2 = 1 \dots 2$ produces mould impact accelerations in the range 7...11 g, corresponding to effective concrete mix compaction regimes.

3. Eliminating rigid mould clamping to the vibrating table simplifies equipment design, reduces its metal intensity, and enhances assembly reliability.

4. The quantitative relationships established between oscillation system parameters and impact-vibration mode characteristics provide a scientific foundation for designing automated process control systems based on IoT sensor technology and digital twins of production equipment.

References

1. Nazarenko I., Dedov O., Diachenko O. Overview of hinged vibration exciter designs and study of their parameters and feasibility of use on vibration platforms for improving compaction of reinforced concrete products. *Construction Equipment*. 2023. No. 2(39). P. 29–39. DOI: 10.32347/tb.2023.2-39.0103
2. Nazarenko I. I., Dedov O. P., Diachenko O. S., Svidersky A. T. Review and analysis of vibration equipment for forming flat reinforced concrete products. *Mining, Constructional, Road and Melioration Machines*. 2017. No. 90. P. 49–58.
3. Pințoi R., Barbu A. M., Ionescu A. Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*. 2020. Vol. 896. P. 355–360. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.896.355
4. Ma Y., Tian Z., Xu X., Liu H., Li J., Fan H. Research on Response Parameters and Classification Identification Method of Concrete Vibration Process. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 8. P. 2958. DOI: 10.3390/ma16082958
5. Chilmon K., Jaworska B., Kalinowski M., Jackiewicz-Rek W., Podkoń A. Significance of Vibration Time in Developing Properties of Precast Pervious Concrete. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 18. P. 6239. DOI: 10.3390/ma16186239

УДК 004.65:339.187

Мацієвський ОлексійАсистент кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0009-0008-2341-8166

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гаршина Олена

Здобувач вищої освіти, кафедра інформаційних технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОТОВАРІВ НА БАЗІ API МАРКЕТПЛЕЙСУ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до розробки автоматизованої системи моніторингу та візуалізації показників реалізації електротоварів на базі API маркетплейсу. Досліджено функціонування маркетплейсів та їх програмних інтерфейсів, виявлено недоліки наявних рішень. Спроектовано архітектуру системи за клієнт-серверною моделлю, розроблено структуру реляційної бази даних PostgreSQL та реалізовано пайплайн збору й агрегації даних засобами Python. Проведено розвідувальний аналіз даних, побудовано аналітичні моделі прогнозування, сегментації та класифікації, результати яких представлено через інтерактивний дашборд Power BI.

Ключові слова: автоматизована система, моніторинг, візуалізація, маркетплейс, API, електронна комерція, Python, PostgreSQL, SQL, Power BI.

Вступ

Сучасний ринок електронної комерції характеризується стрімким зростанням обсягів продажів через маркетплейси: сукупний товарообіг через такі платформи перевищив 3,2 трлн дол. США у 2023 році [1], а сегмент електроніки посідає перше місце за обсягом онлайн-реалізації [2] із виручкою близько 725 млрд євро. Продавці електротоварів змушені одночасно відстежувати десятки показників - обсяги продажів, залишки, динаміку цін, рейтинги та відгуки покупців - при цьому ручна обробка даних є трудомісткою та схильною до помилок. Дослідження McKinsey & Company свідчать, що впровадження автоматизованого моніторингу скорочує час підготовки аналітичних звітів на 60–75 % [3].

Наявні комерційні рішення (Helium 10, Sellics, DataHawk) орієнтовані переважно на міжнародні платформи та не підтримують специфіку регіональних маркетплейсів, зокрема українських (Rozetka, Prom.ua). Вбудована аналітика особистих кабінетів продавців є статичною, не підтримує гнучкого налаштування метрик і позбавлена засобів інтерактивної візуалізації [4]. Це зумовлює актуальність розробки спеціалізованої автоматизованої системи, орієнтованої на моніторинг і аналітичну візуалізацію показників збуту електротоварів засобами API маркетплейсу.

Мета

Метою роботи є розробка автоматизованої системи моніторингу та візуалізації показників

реалізації електротоварів на базі API маркетплейсу, що забезпечує автоматизований збір, обробку та наочне представлення торговельних даних і підтримує прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання: проведення системного аналізу предметної області та виявлення недоліків існуючих рішень; проектування архітектури системи; розробка структури бази даних; реалізація модулів збору, обробки та агрегації даних через API; побудова аналітичних моделей; розробка інтерактивного дашборду.

Систему реалізовано із застосуванням Python як основної мови програмування, PostgreSQL як реляційної СУБД та Microsoft Power BI як інструменту інтерактивної візуалізації. Середовищем виконання обрано Google Colaboratory, що забезпечує доступ до обчислювальних ресурсів без локального розгортання інфраструктури. Дані отримуються через Kaggle API у вигляді датасету бразильського маркетплейсу Olist, що містить понад 1,5 млн записів транзакцій [5] за 2016–2018 роки і охоплює 11 взаємопов'язаних таблиць.

Архітектуру системи спроектовано за клієнт-серверною моделлю та реалізовано у вигляді трирівневого пайплайну. На рівні збору даних виконується автентифікація через Kaggle API та завантаження датасету до хмарного сховища Google Drive. На рівні обробки засобами Python та бібліотеки pandas здійснюється злиття 9 таблиць в

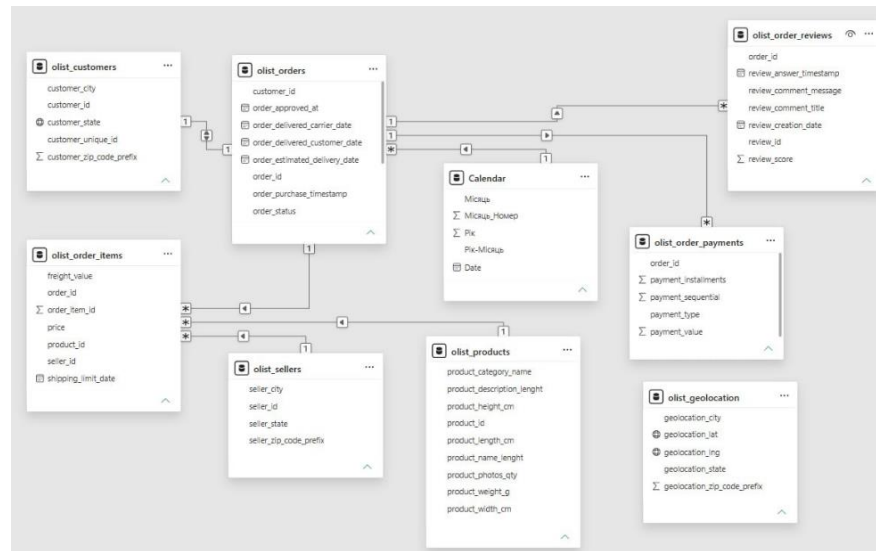


Рисунок 1 - Подання моделі в Power BI

єдиний аналітичний датасет, видалення 775 незавершених замовлень, заповнення пропущених значень та розрахунок похідних ознак - затримки доставки та загальної вартості замовлення. На рівні зберігання використовується СУБД PostgreSQL із реалізацією основних SQL-запитів.

У ході розвідувального аналізу даних (EDA) встановлено стійке 25-кратне зростання місячної кількості замовлень упродовж 2017–2018 років, виявлено виражену географічну концентрацію (штат Сан-Паулу - понад 40 % замовлень) та негативну кореляцію між затримкою доставки і клієнтським рейтингом ($r = -0,31$). Топ-5 товарних категорій (bed_bath_table, health_beauty, sports_leisure, furniture_decor, computers_accessories) формують понад 45 % сукупного GMV.

RFM-сегментація клієнтської бази (Recency, Frequency, Monetary) дозволила розподілити клієнтів на п'ять сегментів: Champions (18 %), Loyal (26 %), At Risk (31 %), Hibernating (15 %) та Lost (10 %). Загалом 56 % клієнтів віднесено до груп ризику відтоку, що свідчить про необхідність цілеспрямованих

реактиваційних кампаній. Класифікатор Random Forest для прогнозування конверсії лідів досяг ROC-AUC = 0,81, при цьому найбільш значущим предиктором виявився канал залучення (organic search), що дозволяє оптимізувати розподіл маркетингового бюджету.

Результати аналізу представлено через інтерактивний дашборд Power BI, що містить чотири тематичні сторінки: огляд KPI, географія продажів, аналіз клієнтів та прогнозування. Дашборд можна опублікувати у Power BI Service для спільного доступу команди. Схему моделі даних всіх таблиць зі зв'язками представлено на рисунку 1.

Техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність розробки. Загальна трудомісткість

склала 160 людино-годин, кошторис витрат - 44 836 грн. Прямі річна економія від скорочення часу аналітика на підготовку звітів (з 8 до 1 год/тиж) становить 91 000 грн, термін окупності - близько 6 місяців.

Висновок

Розроблена система автоматизує повний цикл аналізу даних маркетплейсу - від отримання показників через API до їх збереження в PostgreSQL, побудови аналітичних моделей засобами Python та інтерактивного представлення результатів у дашборді Power BI. Модульна архітектура пайплайну дозволяє масштабувати рішення шляхом підключення реального API маркетплейсу (Rozetka Seller API, Prom.ua API) без суттєвої зміни логіки обробки даних. Результати апробації підтверджують практичну цінність системи для підтримки прийняття управлінських рішень у сегменті електронної комерції.

Список інформаційних джерел

1. Statista Research Department. eCommerce — Worldwide: Revenue in the eCommerce market. Statista Market Forecast. 2024. URL: <https://www.statista.com/outlook/emo/e-commerce/worldwide>
2. Statista Research Department. Consumer electronics market: revenue worldwide 2023. Statista. 2023. URL: <https://www.statista.com/study/55488/consumer-electronics-market-market-data-and-analysis>
3. Fountaine T., McCarthy B., Saleh T. Building the AI-Powered Organization. Harvard Business Review. 2019. Vol. 97, № 4. P. 62–73. URL: <https://hbr.org/2019/07/building-the-ai-powered-organization>
4. Liu Y., Long F. Data and Algorithms: Strategic Disclosure of Competitiveness on Platforms Through Marketplace Analytics. Marketing Science. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1287/mksc.2024.0960>
5. Olist. Brazilian E-Commerce Public Dataset by Olist. Kaggle. 2019. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/olistbr/brazilian-e-commerce>

Митяй Арсеній Олеговичздобувач молодший фаховий бакалавр, <https://orcid.org/0009-0004-7804-7092>

Київський професійно-педагогічний фаховий коледж імені А. Макаренка, Київ, Україна

Митяй Римма Володимирівздобувач освіти, <https://orcid.org/0009-0001-3065-8933>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ СУЧАСНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Анотація: У роботі розглянуто роль інформаційних технологій в управлінні сучасним виробництвом. Проаналізовано основні класи систем автоматизації управління — ERP, MES, SCADA — та їх взаємодію в рамках концепції Індустрії 4.0. Досліджено застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема штучного інтелекту, нейронних мереж, цифрових двійників, комп'ютерного зору та Industrial IoT, для оптимізації виробничих процесів. Наведено практичні приклади впровадження цифрових рішень на виробничих підприємствах. Сформульовано висновки щодо перспектив розвитку інтелектуальних систем управління виробництвом.

Ключові слова: управління виробництвом, ERP, MES, SCADA, штучний інтелект, нейронні мережі, цифрові двійники, комп'ютерний зір.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних технологій (ІТ) кардинально змінив підходи до управління промисловими підприємствами. На зміну розрізненим паперовим регламентам та ручним операціям прийшли інтегровані цифрові платформи, що забезпечують збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Сучасне виробництво характеризується підвищеною складністю технологічних ланцюгів, жорсткими вимогами до якості продукції та необхідністю гнучкого реагування на ринковий попит [1].

Концепція «Індустрія 4.0», що набула поширення з початку 2010-х років, базується на конвергенції фізичних виробничих систем з цифровими технологіями — Інтернетом речей (IoT), хмарними обчисленнями, штучним інтелектом та великими даними [3]. У цьому контексті постає завдання систематизації наявних ІТ-рішень для виробничого управління та виявлення найбільш перспективних напрямів їх розвитку, зокрема у сфері застосування методів штучного інтелекту.

Мета

Метою роботи є аналіз сучасного стану та перспектив застосування інформаційних технологій в управлінні виробництвом, дослідження ефективності впровадження штучного інтелекту, нейронних мереж, цифрових двійників, комп'ютерного зору та Industrial IoT у виробничі процеси, а також визначення ключових тенденцій цифровізації промислових підприємств на основі концепції Індустрії 4.0.

Виклад основного матеріалу

Інформаційне забезпечення управління сучасним виробництвом реалізується через ієрархічну архітектуру програмних систем. На рівні

стратегічного планування функціонують системи класу ERP (Enterprise Resource Planning), які інтегрують управління фінансами, ланцюгами постачання, людськими ресурсами та виробничим плануванням в єдиному інформаційному середовищі. Як свідчать результати численних досліджень, впровадження ERP-систем дозволяє скоротити операційні витрати підприємства на 10–25% і підвищити оборотність запасів на 15–30% [1].

На рівні оперативного управління виробничими процесами застосовуються системи класу MES (Manufacturing Execution System), які забезпечують планування змін, диспетчеризацію обладнання, відстеження якості та облік виробітку в режимі реального часу. Тісна інтеграція MES з ERP формує двоконтурну модель управління: стратегічний рівень задає плани та нормативи, а операційний рівень відслідковує їх виконання і повертає фактичні дані для коригування [2].

Нижній рівень ієрархії представлений системами SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), ПЛК та промисловими мережами передачі даних (Profibus, EtherNet/IP, OPC-UA). Ці рішення здійснюють безпосереднє керування технологічним обладнанням, збір телеметрії та сигналізацію аварійних станів. Ключовою тенденцією є перехід від ізольованих SCADA-систем до відкритих платформ на базі протоколу OPC-UA, що спрощує вертикальну інтеграцію даних між рівнями ієрархії [4]. У межах розвитку інформаційних технологій для виробничого управління особливої уваги набуває впровадження кіберфізичних систем (CPS), де кожна одиниця обладнання оснащується набором сенсорів та мікроконтролерів, що формують цифровий двійник — динамічну віртуальну модель фізичного об'єкта [4].

Алгоритми машинного навчання на базі нейронних мереж здатні виявляти аномалії у вібраційних та термічних сигнатурах обладнання

задовго до настання відмови. За даними провідних виробників, що демонструє високу ефективність застосування, впровадження предиктивного технічного обслуговування (Predictive Maintenance) на основі IoT дозволяє знизити кількість незапланованих простоїв на 30–50% та скоротити витрати на обслуговування на 10–25% [5]. Це є суттєвим якісним стрибком порівняно з традиційними методами планово-попереджувального ремонту, що базуються на фіксованих календарних інтервалах незалежно від фактичного стану обладнання.

Іншим актуальним напрямом є застосування систем комп'ютерного зору для контролю якості продукції. Нейромережеві алгоритми сегментації та класифікації зображень забезпечують контроль 100% продукції, що є недосяжним для людини-оператора при поточних швидкостях виробничих ліній, що підтверджується результатами численних досліджень [6]. Наприклад, у автомобілебудівній галузі системи машинного зору здатні виявляти дефекти лакофарбового покриття розміром менше 0,1 мм при швидкості конвеєра до 30 м/хв [5].

Практичне впровадження описаних технологій підтверджується рядом прикладів. Концерн BMW впровадив платформу цифрового двійника виробничої лінії, яка дозволяє повністю змоделювати перепланування конвеєра у віртуальному середовищі перед фізичними змінами, що скорочує час запуску нових моделей на 30% [4]. Українська енергетична компанія ДТЕК реалізувала IoT-платформу для моніторингу понад 2000 датчиків на теплових електростанціях, що забезпечило скорочення аварійних зупинок на 40% протягом першого року [7]. На підприємствах об'єднання «Укроборонпром» впровадження MES-системи дозволило скоротити тривалість виробничого циклу на 18% та зменшити частку браку на 22% [2].

Таблиця 1- Характеристика сучасних інформаційних технологій у виробничих системах

Технологія	Основне призначення	Рівень застосування	Основний результат
ERP-системи	Управління ресурсами підприємства	Управлінський рівень	Оптимізація планування
MES-системи	Контроль виробничих процесів	Виробничий цех	Підвищення оперативності
SCADA-системи	Моніторинг обладнання	Технічний рівень	Зниження аварійності
IoT-технології	Збір даних із датчиків	Виробничі лінії	Прогнозування несправностей
Штучний інтелект	Аналітичний рівень	Аналіз та прогнозування	Великі масиви даних

Результати дослідження

Проведений аналіз показав, що використання інформаційних технологій значно підвищує ефективність виробничих систем. Автоматизація процесів дозволяє скоротити час виконання виробничих операцій та мінімізувати вплив людського фактора на якість продукції. Використання ERP- та MES-систем забезпечує більш

точне планування виробництва та контроль виконання виробничих завдань [4].

Впровадження SCADA-систем і технологій Інтернету речей сприяє підвищенню надійності обладнання та зменшенню кількості аварійних зупинок виробництва. Завдяки використанню штучного інтелекту підприємства отримують можливість прогнозувати виробничі показники, оптимізувати використання ресурсів та зменшувати виробничі витрати [7].

Висновок

Проведений аналіз свідчить, що інформаційні технології є невід'ємною складовою сучасного виробничого менеджменту. Ієрархічна архітектура ERP–MES–SCADA забезпечує повний контур управління від стратегічного планування до керування технологічним обладнанням. Впровадження концепції Індустрії 4.0 та конвергенція виробничих систем з IoT, хмарними обчисленнями, штучним інтелектом і нейронними мережами відкривають принципово нові можливості для підвищення ефективності виробництва [3].

У роботі систематизовано підходи до інтеграції технологій предиктивного обслуговування та комп'ютерного зору у вертикальну архітектуру управління виробництвом. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку методів оцінки економічної ефективності IT-інвестицій у виробниче середовище та адаптацію глобальних рішень до умов вітчизняних підприємств.

Список літератури

1. Laudon K.C., Laudon J.P. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. 17th ed. Pearson, 2022. 672 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114567>
2. Davenport T.H., Harris J. Competing on Analytics: The New Science of Winning. 3rd ed. Harvard Business Review Press, 2023. 368 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106112>
3. Kagermann H., Anderl R., Schuh G., Wahlster W. Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners. Acatech, 2021. 112 p. DOI: <https://doi.org/10.1287/ijoc.2021.1059>
4. Lee J., Singh J., Azamfar M. Industrial AI and Cyber-Physical Systems for Predictive Maintenance. Manufacturing Letters. 2022. Vol. 31. P. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.04.036>
5. Tao F., Liu A., Hu T., Qi Q. Digital Twin and Data-Driven Smart Manufacturing. Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 58. P. 201–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.023>
6. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning for Industrial Vision Systems. MIT Press, 2022. 520 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00138-022-01345-6>
7. Kovalenko Y., Shevchenko I. IoT Implementation in Ukrainian Energy Sector: Case Study of DTEK. Energy Informatics. 2023. Vol. 6(1). P. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00234-1>

УДК 004.738.5:004.451.44

Грешнов Владислав

здобувач вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури

Доля Олена

к.фіз.-мат..н., доцент кафедри ІТПІМ, orcid.org/0000-0003-2503-2634

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВЕБ-СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ РОЗУМНОГО ДОМУ

Сфера розумних будинків стрімко розвивається в умовах цифрової трансформації: ринок зростає з CAGR 27% та до 2030 року досягне 537,27 млрд USD. Більшість комерційних платформ мають критичні недоліки - хмарну залежність, ризики конфіденційності та надмірну складність налаштування. Результати дослідження. Розроблено систему Smart Home Hub на основі трирівневої архітектури (клієнт-хаб-пристрої) із технологічним стеком Node.js/Express/React/Socket.IO/SQLite. Реалізовано алгоритми JWT-автентифікації, керування TCP-з'єднаннями з пристроями Yeelight та синхронізації стану в реальному часі. Тестування підтвердило затримку синхронізації 25–80 мс та стабільну роботу 20 одночасних TCP-з'єднань. Висновки. Система забезпечує повну локальну незалежність від хмарних сервісів, безпечну автентифікацію та зручний веб-інтерфейс.

Ключові слова: веб-система; розумний дім; IoT; Node.js; React; Socket.IO; Yeelight; JWT; SQLite; керування пристроями.

Постановка проблеми

Концепція розумного дому передбачає централізоване керування взаємопов'язаними пристроями - освітленням, кліматом, безпекою - з метою підвищення комфорту та енергоефективності мешканців. Ринок IoT-пристроїв демонструє вражаючу динаміку: за даними Grand View Research, обсяг ринку розумного дому досягне 537,27 млрд USD до 2030 року при середньорічному темпі зростання 27% [1]. Водночас галузь стикається з трьома системними проблемами.

По-перше, хмарна залежність комерційних рішень: при відсутності Інтернету або збої хмарного сервісу пристрої перестають відповідати на команди. Показовий приклад - у квітні 2022 року компанія Insteon несподівано ліквідувала хмарний сервіс, після чого пристрої мільйонів користувачів стали непридатними до використання [2]. По-друге, конфіденційність: хмарні платформи передають поведінкові дані мешканців на сервери виробника, що є неприйнятним для корпоративного та державного секторів. По-третє, надмірна складність відкритих рішень: платформа Home Assistant вимагає знань YAML-конфігурацій та Docker, що унеможливує її використання широкою аудиторією.

Аналіз останніх досліджень

Порівняльний аналіз п'яти провідних платформ підтвердив наявність незаповненої ринкової ніші. Home Assistant є потужним рішенням, але вимагає значних технічних знань. Amazon Alexa та Google Home забезпечують простоту використання, але функціонують виключно через хмарні сервери. Apple HomeKit підтримує локальну роботу, однак вимагає MFi-сертифікації, відсутньої у пристроїв Yeelight. Node-RED призначений для технічних фахівців та не надає зручного кінцевого інтерфейсу.

Аналіз семи IoT-протоколів (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, BLE, Thread, MQTT, Z-Wave LR) показав, що Wi-Fi із TCP/JSON-RPC API є оптимальним вибором для взаємодії з Yeelight: не вимагає окремого координатора мережі на відміну від Zigbee чи Z-Wave, забезпечує пряме IP-з'єднання та підтримується відкритою специфікацією Yeelight Inter-Operation Specification на порті 55443 [3]. Жодна з розглянутих платформ не поєднує повну локальну незалежність, зручний веб-інтерфейс та прямий TCP-доступ до пристроїв Yeelight.

Мета дослідження

Метою роботи є розробка веб-системи Smart Home Hub для централізованого локального керування пристроями розумного дому Yeelight, що забезпечує повну функціональність у локальній мережі без залежності від зовнішніх хмарних сервісів, просте розгортання без спеціальних технічних знань та безпечну JWT-автентифікацію. Об'єкт дослідження - веб-система для керування IoT-

пристроями на базі протоколів TCP/JSON-RPC, JWT та WebSocket. Предмет дослідження - методи та технології розробки локальних веб-систем керування IoT-пристроями.

Виклад основного матеріалу

Систему розроблено на основі тривірневої архітектури: клієнт (React SPA у браузері) - хаб (Node.js/Express) - пристрої (TCP/JSON-RPC). Методологія розробки - Agile/Scrum із плануванням п'яти двотижневих спринтів. Технологічний стек: Node.js 22 LTS, Express.js 4, SQLite (better-sqlite3), Socket.IO 4, React 18, Tailwind CSS 3, JWT (jsonwebtoken), bcrypt. Вибір SQLite як СУБД обґрунтовано відсутністю необхідності в окремому серверному процесі та підтримкою повного набору ACID-транзакцій.

На рис. 1 наведено загальну архітектуру веб-системи Smart Home Hub та взаємодію її основних компонентів.

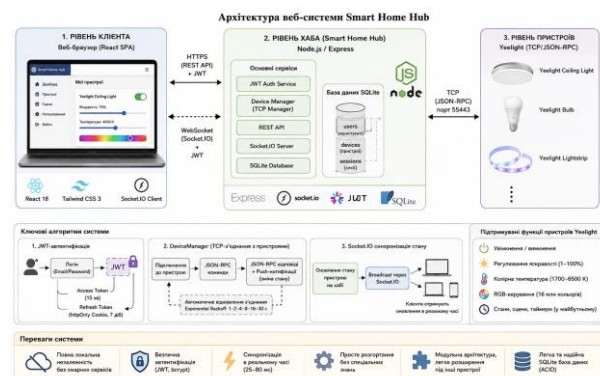


Рисунок 1 - Архітектура веб-системи Smart Home Hub

Реалізовано три ключових алгоритми. Алгоритм JWT-автентифікації використовує bcrypt із cost factor=10 для хешування паролів (~70–100 мс на хеш), access-токени з терміном дії 15 хвилин та refresh-токени в httpOnly cookie (7 діб); JWT-middleware захищає всі REST-ендпоінти та Socket.IO-з'єднання. Алгоритм DeviceManager підтримує постійний пул TCP-з'єднань із пристроями Yeelight, обробляє JSON-RPC відповіді та push-нотифікації про зміну стану, реалізує автоматичне відновлення з'єднань за алгоритмом exponential backoff із інтервалами 1–2–4–8–16–30 секунд. Алгоритм Socket.IO синхронізації транслює оновлення стану пристроїв усім підключеним клієнтам через персональні кімнати з JWT-автентифікацією WebSocket-підключень.

База даних SQLite містить три таблиці: users (облікові записи з bcrypt-хешами паролів), devices (zareestrovani пристрої з параметрами стану: живлення, яскравість 1–100%, колірна температура 1700–6500 K, RGB-значення), sessions (refresh-

токени). REST API специфіковано дев'ятьма ендпоінтами для автентифікації та CRUD-операцій із пристроями. Веб-інтерфейс на React 18 включає адаптивний дашборд із картою пристрою, де розміщено перемикач живлення, слайдери яскравості та температури й RGB-пікер. Адаптивна сітка Tailwind CSS забезпечує коректне відображення від 1 до 4 карток у рядку залежно від ширини екрана.

Тестування системи з фізичними пристроями Yeelight у локальній мережі підтвердило відповідність усім визначеним вимогам: затримка між командою та оновленням стану клієнтів склала 25–80 мс (вимога ≤ 500 мс); система стабільно підтримує 20 одночасних TCP-з'єднань без деградації продуктивності; реконект після відключення відбувається автоматично. Економічний аналіз показав сукупну вартість власності за 3 роки \$129–168 (VPS Hetzner або Raspberry Pi 4), що нижче всіх розглянутих комерційних альтернатив.

Висновки

Розроблено веб-систему Smart Home Hub, що вирішує реальну потребу власників Yeelight-пристроїв у зручному локальному центрі керування. Система усуває хмарну залежність, забезпечує безпечну JWT-автентифікацію та синхронізацію стану в реальному часі з затримкою 25–80 мс. Практична цінність підтверджується: розроблена система є відкритим прикладом IoT-архітектури (MIT ліцензія), а модульний DeviceManager з патерном Strategy дозволяє без переписування коду розширити підтримку на нові типи пристроїв (Zigbee через MQTT-брокер, TuYa API). Перспективи подальшого розвитку: підтримка PWA для офлайн-режиму та push-сповіщень, система автоматизацій (таймери, сцени), Docker Compose розгортання в одну команду.

Список літератури

1. Grand View Research. Smart Home Market Size, Share & Trends Analysis. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-homes-industry>
2. Smart Home Company Insteon Shuts Down Servers // PCMag. URL: <https://www.pcmag.com/news/smart-home-company-insteon-shuts-down-servers-without-warning>
3. Yeelight Inter-Operation Specification v1.4. URL: https://www.yeelight.com/download/Yeelight_Inter-Operation_Spec.pdf

УДК 004.9:658.5

Митяй Арсеній Олеговичздобувач молодший фаховий бакалавр, <https://orcid.org/0009-0004-7804-7092>

Київський професійно-педагогічний фаховий коледж імені А. Макаренка, Київ, Україна

Митяй Римма Володимирівназдобувач освіти, <https://orcid.org/0009-0001-3065-8933>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ BMW iFACTORY

У роботі досліджено вплив інформаційних технологій на ефективність виробничої діяльності підприємств на прикладі BMW Group. Проаналізовано результати впровадження цифрових технологій у межах стратегії BMW iFACTORY, зокрема програм Shopfloor.Digital, систем штучного інтелекту, Інтернету речей, автоматизованого контролю якості та роботизованих комплексів. Визначено основні напрями цифрової трансформації виробництва та їх вплив на продуктивність праці, якість продукції, логістичні процеси та управління виробничими ресурсами.

Ключові слова: цифровізація, штучний інтелект, стратегія, роботизація, автоматизація.

Вступ

У сучасних умовах розвитку промисловості інформаційні технології стали одним із ключових чинників підвищення ефективності виробничої діяльності підприємств. Глобальна конкуренція, зростання вимог до якості продукції та необхідність оптимізації витрат спонукають виробників активно впроваджувати цифрові рішення у виробничі процеси [1]. Використання штучного інтелекту, хмарних технологій, робототехніки та IoT дозволяє підприємствам підвищувати продуктивність праці, забезпечувати стабільність виробничих процесів і покращувати управління ресурсами [2].

Одним із провідних прикладів цифрової трансформації виробництва є BMW Group, яка реалізує стратегію BMW iFACTORY [3, 5]. Концепція передбачає створення цифрового виробничого середовища, у якому інформаційні технології використовуються для оптимізації виробництва, контролю якості продукції та управління логістичними процесами.

Мета

Метою роботи є дослідження впливу інформаційних технологій на ефективність виробничої діяльності підприємств на прикладі BMW Group та визначення основних результатів цифровізації виробництва.

Виклад основного матеріалу

Цифрова трансформація виробництва BMW Group здійснюється в межах концепції BMW iFACTORY, що базується на принципах «Lean. Green. Digital» [3]. Основою цифровізації виробничої діяльності є інтеграція інформаційних технологій у процеси планування, виробництва, логістики та контролю якості продукції.

Ключовим елементом цифрової стратегії компанії є програма Shopfloor.Digital, спрямована на гармонізацію виробничих процесів та інформаційних систем на всіх виробничих майданчиках BMW Group. У межах програми створюється єдина хмарна IT-архітектура, яка забезпечує централізоване управління виробничими даними та підтримку прийняття управлінських рішень [4, 10]. Це дозволяє підвищити прозорість виробничих процесів та оперативність реагування на зміни показників.

Особливу роль у підвищенні ефективності виробництва відіграє штучний інтелект. На заводі BMW Group у Ландсхуті використовуються алгоритми аналізу даних для виявлення аномалій у виробничих мережах і запобігання кіберзагрозам. Крім того, системи штучного інтелекту застосовуються для моніторингу виробничих процесів, прогнозування можливих відхилень та підтримки контролю якості продукції [4, 8].

Важливим напрямом цифровізації є використання технологій Інтернету речей та аналізу даних у режимі реального часу. На заводі в Ландсхуті датчики та цифрові системи забезпечують контроль виробничого обладнання, оптимізацію матеріальних потоків і координацію логістичних операцій. Такий підхід дозволяє скоротити ризики виникнення виробничих затримок і підвищити ефективність використання ресурсів підприємства [4, 9].

Значний вплив на ефективність виробничої діяльності має автоматизація контролю якості. У виробництві компонентів BMW застосовуються системи комп'ютерного зору та штучного інтелекту, які здійснюють автоматичну перевірку продукції. Під час фінального контролю якості на заводі в Ландсхуті автоматизовані системи перевіряють близько 50 параметрів продукції протягом 30 секунд [4]. Для контролю окремих деталей використовується технологія комп'ютерної

томографії, яка дозволяє формувати тривимірну модель виробу та автоматично виявляти дефекти.

Перспективним напрямом розвитку виробництва є використання робототехнічних систем нового покоління. У 2025 році BMW повідомила про успішне тестування людиноподібних роботів Aeon, розроблених компанією Hexagon Robotics. Використання таких систем сприяє підвищенню продуктивності виробництва, зменшенню фізичного навантаження на персонал та збільшенню гнучкості виробничих процесів [6].

Таблиця 1 - Вплив цифрових технологій на ефективність виробничої діяльності BMW Group

Технологія	Сфера застосування	Результат для виробництва
Shopfloor.Digital	Управління виробничими процесами	Підвищення прозорості та оперативності управління
Хмарна IT-архітектура	Інтеграція виробничих даних	Швидке прийняття управлінських рішень
Штучний інтелект	Аналіз даних і прогнозування ризиків	Підвищення продуктивності та безпеки
Інтернет речей (IoT)	Моніторинг обладнання та логістики	Оптимізація ресурсів і скорочення простоїв
Автоматизований контроль якості	Перевірка продукції	Зменшення кількості дефектів
Комп'ютерна томографія	Контроль компонентів	Підвищення точності контролю якості
Роботи-гуманоїди Аеон	Виконання виробничих операцій	Зростання продуктивності та гнучкості виробництва

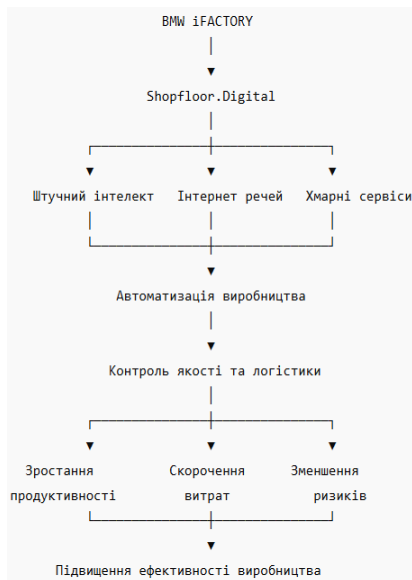


Рисунок 1. Вплив цифрових технологій на ефективність виробництва на прикладі компанії BMW Group

Результати аналізу свідчать, що найбільший ефект від цифровізації виробництва досягається не завдяки впровадженню окремих технологій, а через їх інтеграцію в єдину цифрову екосистему. На прикладі BMW Group встановлено, що поєднання платформ Shopfloor.Digital, технологій штучного

інтелекту, Інтернету речей та роботизованих систем забезпечує синергетичний ефект, який проявляється у підвищенні продуктивності праці, скороченні виробничих витрат та покращенні якості продукції.

Узагальнену схему впливу цифрових технологій на ефективність виробництва в межах концепції BMW iFACTORY наведено на рис. 1.

Наукова новизна дослідження полягає у визначенні особливостей інтегрованого використання цифрових технологій BMW iFACTORY та їх впливу на ефективність виробничої діяльності підприємств.

Висновок

Інформаційні технології є важливим чинником підвищення ефективності виробничої діяльності сучасних підприємств. На прикладі BMW Group встановлено, що впровадження цифрових платформ, систем штучного інтелекту, Інтернету речей, автоматизованого контролю якості та роботизованих комплексів дозволяє підвищити продуктивність виробництва, покращити якість продукції та оптимізувати використання виробничих ресурсів.

Подальший розвиток виробничих систем буде пов'язаний із розширенням застосування штучного інтелекту, робототехніки та цифрових платформ, що створюватиме нові можливості для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств.

Список літератури

- 1.Sony M., Naik S. Industry 4.0 Integration with Lean Manufacturing: A Systematic Review and Research Agenda. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2021. Vol. 32(3–4). P. 1–23.
- 2.Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Khan I.H., Suman R. Understanding the Adoption of Industry 4.0 Technologies in Improving Environmental Sustainability. *Sustainable Operations and Computers*. 2022. Vol. 3. P. 203–217.
- 3.BMW Group. *BMW iFACTORY: Lean. Green. Digital*. Munich: BMW Group, 2024.
4. *Plant Landshut Enhances Digitalisation in Component Production*. BMW Group PressClub Global. 2025.
- 5.BMW Group. *Annual Report 2024*. Munich: BMW AG, 2025.
- 6.Hexagon AB. *BMW Group Tests Humanoid Robot Aeon in Production Environment*. Stockholm: Hexagon Robotics, 2025.
- 7.Leng J., Ruan G., Jiang P., Xu K., Liu Q., Zhou X., Liu C. Blockchain-Empowered Sustainable Manufacturing and Product Lifecycle Management in Industry 4.0: A Survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 132.
- 8.Bousdekis A., Apostolou D., Mentzas G. Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities and Managerial Implications. *IEEE Engineering Management Review*. 2021. Vol. 49(1). P. 52–62.
- 9.Khan M.A., Salah K. IoT Security: Review, Blockchain Solutions, and Open Challenges. *Future Generation Computer Systems*. 2021. Vol. 82. P. 395–411.
- 10.Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. The Impact of Digital Technology and Industry 4.0 on the Ripple Effect and Supply Chain Risk Analytics. *International Journal of Production Research*. 2021. Vol. 59(11). P. 3538–3554.

УДК: 004.8:616-07

Тарасовська Владислава

Здобувачка вищої освіти, *orcid: 0009-0004-2488-0222*

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Поплавський Олександр

Д.т.н, доцент, професор кафедри ІТ, *orcid: 0000-0003-0465-6843*

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ТА ПІДТРИМЦІ ЛІКУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком цифрових технологій та активним упровадженням штучного інтелекту в систему охорони здоров'я. У роботі розглянуто основні проблемні аспекти застосування штучного інтелекту в процесах діагностики захворювань і підтримки лікувальних рішень, зокрема технічні, етичні, правові та соціальні ризики використання інтелектуальних систем у сучасній медицині. Метою дослідження є систематизація ключових проблем упровадження штучного інтелекту в медичну практику та визначення умов його безпечного використання. Узагальнено, що системи штучного інтелекту мають значний потенціал у сфері онкологічної діагностики, радіології та прогнозування перебігу захворювань. Водночас їх практичне застосування обмежується алгоритмічною упередженістю, недостатньою інтерпретованістю моделей, ризиками порушення конфіденційності медичних даних, правовою невизначеністю відповідальності за помилки та нерівним доступом до сучасних цифрових технологій. Зроблено висновок, що ефективне впровадження штучного інтелекту в медичну практику потребує чітких регуляторних механізмів, клінічної валідації алгоритмів, захисту персональних даних, розвитку пояснювального штучного інтелекту та підготовки медичних працівників до роботи з інтелектуальними системами.

Ключові слова: штучний інтелект; медична діагностика; машинне навчання; персональні медичні дані; алгоритмічна упередженість; пояснювальний штучний інтелект; цифрова медицина.

Технічні аспекти застосування штучного інтелекту в медицині

Одним із найбільш критичних аспектів використання штучного інтелекту в медицині є питання точності та надійності діагностичних алгоритмів. На відміну від традиційних медичних інструментів, інтелектуальні системи навчаються на основі наявних наборів даних, якість і репрезентативність яких безпосередньо впливає на достовірність отриманих результатів. Це означає, що якщо навчальний датасет є неповним або нерівномірним, система може давати систематично хибні результати для окремих категорій пацієнтів.

Особливої гостроти набуває проблема так званої алгоритмічної упередженості (англ. *algorithmic bias* – ситуації, коли недостатнє представлення окремих демографічних груп у навчальних даних зумовлює дискримінаційні результати, щодо певних категорій хворих) [1].

Важливою технічною проблемою є обмежена інтерпретованість результатів роботи алгоритмів глибокого навчання. Переважна більшість сучасних систем штучного інтелекту функціонують, як «чорна скринька», тобто вони надають діагноз або

рекомендацію, але не пояснюють логіку прийнятого рішення [6]. Це суттєво ускладнює верифікацію результатів і знижує рівень довіри з боку медичних працівників. Японські дослідники у журналі *Japanese Journal of Radiology* зазначають, що інтелектуальні системи в радіологічній діагностиці демонструють надзвичайно обнадійливі результати в деяких задачах, однак необхідні додаткові клінічні випробування для підтвердження надійності [5].

Застосування програмних систем на основі машинного навчання в онкологічній діагностиці

Онкологія є однією з галузей, де штучний інтелект показує найкращі результати. Системи машинного навчання здатні швидко аналізувати гістологічні зображення та виявляти злоякісні новоутворення на ранніх стадіях (рис.1) [2].

Проте навіть системи з високою точністю (до 95%) в лабораторних умовах часто демонструють гірші результати в реальній клінічній практиці через різноманітність патологій та індивідуальні особливості пацієнтів. Тому наразі штучний інтелект використовується переважно як допоміжний інструмент [3].



Рисунок 1. Застосування AI

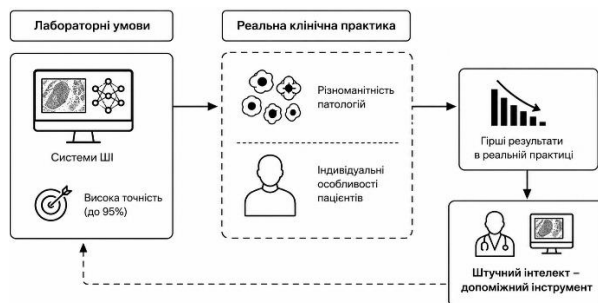


Рисунок 2. ШІ як інструмент

Етичні та правові проблеми застосування інтелектуальних систем

Важливою проблемою залишається захист персональних медичних даних. Навчання алгоритмів потребує великих обсягів конфіденційної інформації, що створює ризики витоку даних та несанкціонованого використання [4].

Крім того, існує правова невизначеність щодо розподілу відповідальності за помилки, допущені за участі штучного інтелекту. Чинне законодавство більшості країн, включно з Україною, не містить чітких механізмів відповідальності між лікарем, розробником і закладом охорони здоров'я [4]. Окремою проблемою є нерівний доступ до сучасних технологій між країнами та регіонами [5].

Перспективи безпечного впровадження програмних систем на основі машинного навчання

Для ефективного та безпечного використання штучного інтелекту необхідні чіткі регуляторні стандарти, що охоплюватимуть якість даних, клінічну валідацію алгоритмів та механізми моніторингу безпеки. Важливим є також розвиток пояснювального штучного інтелекту (Explainable AI) та системна підготовка медичних працівників [1].

Висновки

Проведений аналіз свідчить, що застосування штучного інтелекту має значний потенціал у діагностиці захворювань, особливо в онкології та радіології. Однак його повноцінне впровадження стримується алгоритмічною упередженістю, недостатньою інтерпретованістю моделей, правовою невизначеністю та ризиками порушення конфіденційності даних.

Подальше ефективне використання штучного інтелекту можливе лише за умови міждисциплінарного підходу, удосконалення регуляторної бази, створення репрезентативних датасетів та підготовки медичних фахівців.

Використані джерела:

[1] P. Rajpurkar, E. Chen, O. Banerjee, and E. J. Topol, "AI in health and medicine," *Nature Medicine*, vol. 28, no. 1, pp. 31–38, Jan. 2022, doi: 10.1038/s41591-021-01614-0.

[2] В. Ю. Ільїна-Стогнієнко, Б. Л. Лисецький, and І. І. Лойко, "Вплив інновацій у штучному інтелекті на ефективність діагностичних процедур в онкології," *Український медичний часопис*, Nov. 26, 2024, doi: 10.32471/umj.1680-3051.260483

[3] H. Takita *et al.*, "A systematic review and meta-analysis of diagnostic performance comparison between generative AI and physicians," *npj Digital Medicine*, vol. 8, Art. no. 175, Mar. 2025, doi: 10.1038/s41746-025-01543-z.

[4] P. A. Kulkarni and H. Singh, "Artificial intelligence in clinical diagnosis: opportunities, challenges, and hype," *JAMA*, vol. 330, no. 4, pp. 317–318, 2023, doi: 10.1001/jama.2023.11440.

[5] S. Tsuyuzaki *et al.*, "Evaluation of AI diagnostic systems for breast ultrasound: comparative analysis with radiologists and the effect of AI assistance," *Japanese Journal of Radiology*, vol. 43, pp. 1643–1651, 2025, doi: 10.1007/s11604-025-01809-2.

[6] M. A. Boden, *Artificial Intelligence: A Very Short Introduction*. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2018.

[7] World Health Organization, *Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health: WHO Guidance*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>. Accessed: Mar. 5, 2026.

Соловей Ольга

к.т.н., доцент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-8774-7243

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БІБЛІОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

У роботі проведено розширений бібліометричний аналіз наукових публікацій у базі даних Google Scholar з метою визначення компонентів «хмарно-орієнтованої архітектури», які слід включити до архітектурного підходу для Інтелектуальної Технології управління даними проєктів міського будівництва. Бібліометричний аналіз здійснено за методологією, що складається з шести кроків і дає змогу оцінити зв'язність компонентів «хмарно-орієнтованої архітектури» за мірою зв'язності Jaccard. На основі отриманих результатів зроблено висновок, що до «хмарно-орієнтованої архітектури» інформаційної технології для управління великими даними проєктів міського будівництва необхідно включити мікросервіси, контейнеризацію та управління за допомогою оркестратора Kubernetes.

Ключові слова: хмарно-орієнтована архітектура, управління даними в будівництві, бібліометричний аналіз наукових публікацій

Вступ

У роботі [1] розроблено та обґрунтовано класифікацію типів даних для проєктів міського будівництва на основі положень чинної нормативної бази України, зокрема серії стандартів ДСТУ ISO 19650. Запропонована класифікація охоплює весь життєвий цикл будівельного проєкту і включає такі типи даних: «BIM-модель», «документ», «події з датчиків», «завдання/графік», «інцидент», «фінансова операція», «інспекція (експлуатаційна)», «ресурс/контрагент», «мультимедіа (будівництво)».

Наявність даних типу «події з датчиків» висуває спеціальні вимоги до архітектури Інтелектуальної Технології управління даними для проєктів міського будівництва, які пов'язані з Big Data, а саме: 1) потреба у масштабованості; 2) потреба в гнучкості та відмовостійкості; 3) аналітика даних у реальному часі (real-time analytics) [2].

«Хмарно-орієнтована архітектура» є архітектурним підходом, який вирішує поставлені завдання 1–3 в інтелектуальних системах [3]. Водночас попередній бібліометричний аналіз наукових публікацій в базі даних Google Scholar за вузьким запитом «управління даними для будівництва» ("construction data management") AND «хмарно-орієнтована архітектура» ("cloud-native architecture") не повертає публікацій, що ускладнює аналіз існуючих архітектурних рішень для технологій управління даними будівництва і вказує на необхідність проведення ширшого дослідження.

Мета

Метою роботи є визначення компонентів «хмарно-орієнтованої архітектури», які потрібно

включити до архітектурного підходу для Інтелектуальної Технології управління даними для проєктів міського будівництва на основі проведення розширеного бібліометричного аналізу наукових публікацій у базі даних Google Scholar.

Виклад основного матеріалу

Бібліометричний аналіз наукових публікацій у базі даних Google Scholar проведемо відповідно до методології, що складається з таких кроків:

1. Формування запиту для отримання пов'язаних публікацій за визначений період.
2. Збір ключових слів з усіх отриманих в результаті виконання запиту публікацій.
3. Визначення частоти (m), з якою ключові слова зустрічаються у всьому наборі публікацій.
4. Визначення сили зв'язку для пар ключових слів (k_1 , k_2) на основі міри зв'язності Jaccard:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, J(A, B) \in [0, 1] \quad (1)$$

де A – множина наукових публікацій, в яких зустрічається ключове слово k_1 , B – множина наукових публікацій, в яких зустрічається ключове слово k_2 .

5. Представлення значень міри зв'язності Jaccard (1) за лінгвістичною шкалою T = [“слабкий або відсутній зв'язок”, “помірний зв'язок”, “сильний зв'язок”] за правилом:

$$\{T_1, J(A, B) \leq 0.3, T_2, 0.3 < J(A, B) \leq 0.5, T_3, 0.5 < J(A, B)\}, \quad (2)$$

На першому кроці в базі даних Google Scholar виконано запит: ("construction data management") AND ("architecture") AND (("civil construction") OR

("construction industry")), в результаті якого було отримано 61 публікацію за період з 2025 до 2026 року. Аналіз частоти ключових слів (рис. 1) вказує, що слова «хмарно-орієнтована архітектура» (cloud-native architecture), «мікросервіси» (microservices) та «контейнеризація» (containerization) зустрічаються з

відносною частотою 9%, 6% та 3% відповідно, тоді як для інших слів відносна частота появи складає 2% або 1%.

В таблиці 1 включено пари ключових слів з рис. 1, для яких сила зв'язку за мірою Jaccard перевищує 0.5.

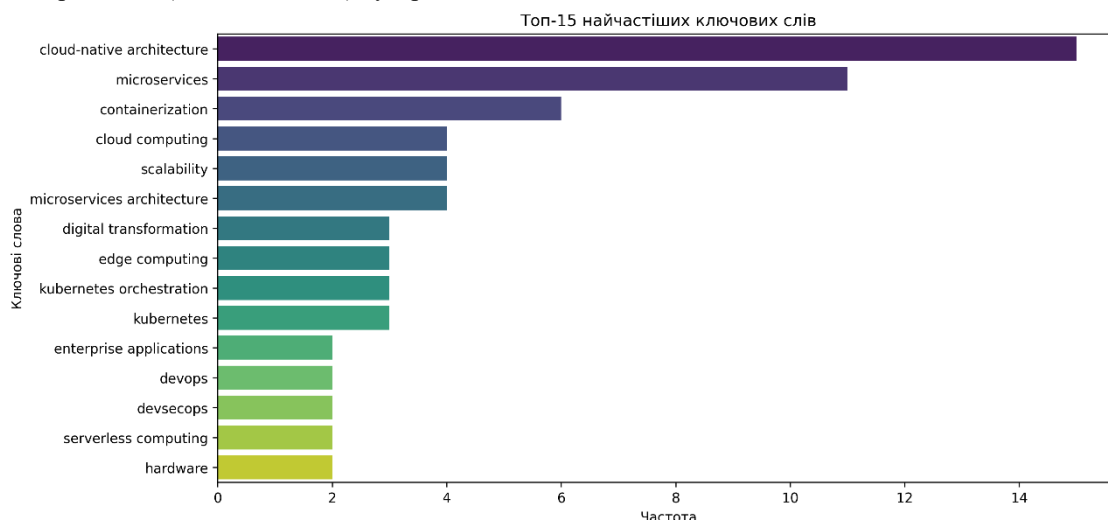


Рисунок 1 - Ключові слова за частотою їх включення у наукові публікації

Таблиця 1 – Міра зв'язності Jaccard для ключових слів

Ключове слово 1	Ключове слово 2	Міра Jaccard	Лінгвістична шкала T
масштабованість	kubernetes	0.75	сильний зв'язок
kubernetes	корпоративні застосунки	0.667	сильний зв'язок
хмарно-орієнтована архітектура	мікросервіси	0.529	сильний зв'язок
масштабованість	корпоративні застосунки	0.5	помірний зв'язок
хмарні обчислення	апаратне забезпечення	0.5	помірний зв'язок
мікросервіси	контейнеризація	0.417	помірний зв'язок
корпоративні застосунки	devops	0.333	помірний зв'язок

Аналіз сили зв'язку між ключовими словами (Табл. 1) дозволяє визначити наступне: «сильний зв'язок» між поняттями «масштабованість» та «kubernetes» ($J=0.75$), а також між «kubernetes» та «корпоративні застосунки» ($J=0.667$) свідчить про те, що Kubernetes розглядається в науковому дискурсі як стандарт і ключовий інструмент для забезпечення масштабованості саме для додатків корпоративного рівня. «Сильний зв'язок» між поняттями «хмарно-орієнтована архітектура» та «мікросервіси» ($J=0.529$) підтверджує, що хмарно-орієнтована архітектура - це передусім мікросервісна архітектура. У свою чергу, «помірний зв'язок» між поняттями «мікросервіси» та «контейнеризація» ($J=0.417$) вказує на те, що контейнери є основним способом пакування та розгортання мікросервісів. Наявність «помірного

зв'язку» між поняттями «корпоративні застосунки» та «devops» ($J=0.333$) свідчить, що практики DevOps розглядаються як невід'ємна частина життєвого циклу сучасних мікросервісних корпоративних додатків.

Висновок

Таким чином, на основі результатів бібліометричного аналізу в базі даних Google Scholar за запитом ("construction data management") AND ("architecture") AND (("civil construction") OR ("construction industry")) можна стверджувати, що в «хмарно-орієнтовану архітектуру» інформаційної технології для управління великими даними проєктів міського будівництва необхідно включити мікросервіси, контейнеризацію та управління за допомогою оркестратора Kubernetes.

Список літератури

- 1.Соловей О. Класифікація типів даних для гібридних інформаційних технологій управління даними проєктів міського будівництва / О. Соловей // 2025.
- 2.Wehrmeister K., Pastor A., Carreras Rodriguez L., Monti A. Big Data Reference Architecture for the Energy Sector // Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 14. P. 6488.
- 3.Kaleem S., Sohail A., Tariq M. U., Asim M. An improved big data analytics architecture using federated learning for IoT-enabled urban intelligent transportation systems // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 21. P. 15333.
- 4.Jaccard index [Електронний ресурс] // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Jaccard_index (дата звернення: 22.05.2026).

U.D.C. 004.8 + 004.932:624.012.4

Shamurat Meiirkhan

Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Lukman Arsen

Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Shakshanbay Nuray

Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Biloshchytskyi Andrii

DSc (Eng.), Professor, orcid.org/0000-0001-9548-1959
Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Kyiv, Ukraine
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF CONCRETE STRUCTURES USING NEURAL NETWORKS AND IMAGE ANALYSIS METHODS

Abstract. Mechanical loading and environmental deterioration are continuously imposed on concrete infrastructures. Surface cracking is one of the initial indicators of structural deterioration, however, manual inspection is time consuming and unreliable for thin, low-contrast hairline cracks [1, 2]. Research Results Six deep learning models were trained on the SDNET2018 dataset (56,092 annotated patches) with a common median filtering and CLAHE preprocessing pipeline. ResNet34 obtained the best F1-score (0.8145) and AUC-ROC (0.9580), EfficientNetV2-S achieved the highest accuracy (94.54%), U-Net obtained the best recall (0.8036). Zero-shot evaluation on the independent CCIC benchmark verified cross-domain robustness. Conclusions. Holistic pipeline of targeted preprocessing, treatment of class imbalance and diverse model architectures enables competitive crack detection in both classification and localization.

Keywords: Concrete crack detection; Structural Health Monitoring; CNNs; Transfer Learning; SDNET2018; CLAHE; U-Net

Introduction

Modern society is dependent on concrete bridges, buildings and pavements [2]. Cracks if not detected, can indicate material stresses and weaknesses and can lead to structural failure [3]. The manual visual inspection of hairline fractures under low illumination is time-consuming, subjective and error-prone [3]. Existing automated solutions [2] are limited in terms of lack of cross-domain testing/validation on a single dataset. Additionally, preprocessing steps may harm pixel-intensity gradients of deep classifiers and 5.6:1 class imbalance of realistic crack datasets impedes minority-class detection [4]. These issues demand an integrated pipeline that includes targeted preprocessing, treatment of class imbalance, various model architectures and multi-dataset evaluation.

Goal

The objective of this work is to design and evaluate an intelligent CNN based system for automated monitoring of concrete structures by using advanced image processing to improve the precision and effectiveness of crack detection in both classification and localization modes. We hypothesize that targeted preprocessing, multi-backbone feature extraction and

explicit class-imbalance handling will outperform single-architecture baselines and generalize better to real-world variability. Six tasks were defined: literature analysis, dataset preparation, preprocessing design, model training, metric-based evaluation and cross-domain generalization testing. While prior work trains one model on one dataset, we systematically compare six models under a common preprocessing pipeline and test cross-domain generalization on an independent benchmark.

Main part

Before deep learning, crack detection was based on thresholding and Sobel edge detectors, which are very sensitive to noise and illumination [3]. Currently, modern transfer learning with CNN based ImageNet backbones (ResNet, VGG, EfficientNet) achieves benchmark accuracies above 95% [5]. U-Net encoder-decoder architectures achieve pixel level localization with reported MIOU up to 76.4% [6]. The performance is further improved with hybrid approaches: the RNN-AHEO model trained on SDNET2018 with median filtering and CLAHE achieved accuracy from 96.3% to 99.7%. Despite these advances, few SHM studies report in-field tests on full-scale structures and cross-domain generalization is still largely unverified [2], motivating the evaluation protocol adopted in this work.

The primary dataset is SDNET2018, which is

composed of 56,092 labeled RGB sub-images (256×256 px) of bridge decks, walls and pavements, with 8,484 cracked and 47,608 uncracked samples (5.6:1) [4]. Cross-domain evaluation is on the CCIC benchmark from METU (40,000 balanced 227×227 px images) completely held out from training. A single preprocessing pipeline is applied, including 3×3 median filtering for noise reduction while maintaining crack edges and CLAHE to enhance local contrast [1, 3]. Class imbalance is handled by a stratified 70/15/15 split with fixed seed 42, inverse-frequency class weighting, and a positive-class weight in the loss function. Example of images before and after preprocessing are shown in Fig. 1.

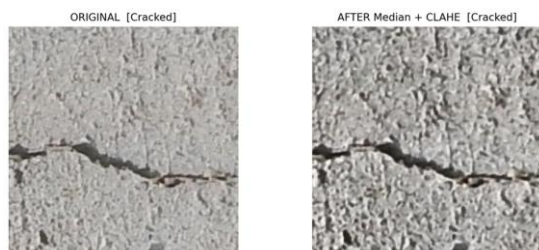


Figure 1. Visual comparison before and after preprocessing

Six models have been trained and evaluated. We use transfer-learning classifiers: ResNet34, VGG16, and EfficientNetV2-S, with ImageNet pre-trained backbones, fine-tuned for binary crack/no-crack classification. These models use AdamW, BCEWithLogitsLoss with positive-class weighting, and early stopping on validation F1. FusionCNN concatenates the features from InceptionV3, VGG16 and AlexNet to form a 36,352-dimensional fused representation. The RNN-AHEO uses ridgelet activation functions that are sensitive to the orientation of the crack directionally, and optimized using opposition-based initialization and logistic chaos mapping. U-Net employs

an encoder-decoder with skip-connections to perform pixel-level localization trained on the CrackForest segmentation dataset.

As shown in Table 1, ResNet34 achieved the highest F1-score (0.8145) and AUC-ROC (0.9580) which validated that residual skip connections enable stable fine-tuning and effective crack feature learning [5]. The best accuracy (94.54%) and precision (0.8714) was obtained by EfficientNetV2-S-appropriate when false alarms are to be minimized. The U-Net Classification obtained the highest recall (0.8036), which is the most important in safety-critical scenarios [6]. On the zero-shot CCIC benchmark, ResNet34 and EfficientNetV2-S showed the best generalization with F1-scores of 0.9529 and 0.9499 respectively, whereas FusionCNN had the poorest transfer (F1=0.8195). As the metaheuristic-optimized ridgelet features capture the generalizable crack patterns, the cross-dataset recall of RNN-AHEO is 0.9414.

Conclusions

This paper presented an intelligent system for concrete crack detection using six deep learning models trained on SDNET2018 with a unified median-filtering and CLAHE preprocessing pipeline. ResNet34 offers the best precision-recall balance (F1=0.8145, AUC-ROC=0.9580) and cross-domain generalizability, EfficientNetV2-S is preferable for precision-critical applications, and U-Net Classification maximizes recall for safety-critical inspection while its localization variant provides pixel-level crack mapping. Remaining limitations include sensitivity to thin cracks under adverse illumination and the geographic gap between SDNET2018 and other inspection environments; future work should investigate transformer-based architectures, domain adaptation and multi-modal sensor fusion.

Table 1 – Comparison of all models on SDNET2018

Model	Accuracy (%)	Precision	Recall	F1-Score	AUC-ROC
ResNet34	94.30	0.8014	0.8279	0.8145	0.9580
VGG16	92.98	0.7832	0.7407	0.7614	0.9199
EfficientNetV2-S	94.54	0.8714	0.7502	0.8062	0.9465
FusionCNN	91.41	0.7292	0.6874	0.7076	0.8949
RNN-AHEO	92.24	0.8236	0.6198	0.7073	0.9091
U-Net (Class.)	89.76	0.6257	0.8036	0.7036	0.9180
U-Net (Local.)	97.27	0.5862	0.6573	0.6521	0.9275

References

- 1.Y. Lin, M. Ahmadi, K. A. Alnowibet, and F. A. Bukhari, "Concrete crack detection using ridgelet neural network optimized by advanced human evolutionary optimization," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, p. 4858, Feb. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-89250-3.
- 2.C. Ferraris, G. Amprimo, and G. Pettiti, "Computer Vision and image processing in Structural Health Monitoring: Overview of recent applications," *Signals*, vol. 4, no. 3, pp. 539–574, Jul. 2023, doi: 10.3390/signals4030029.
- 3.V. P. Golding, Z. Gharineiat, H. S. Munawar, and F. Ullah, "Crack detection in concrete structures using deep learning," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 8117, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14138117.

- 4.M. Maguire, S. Dorafshan, and R. J. Thomas, "SDNET2018: A concrete crack image dataset for machine learning applications," *Digital Commons - USU (Utah State University)*, Jan. 2018, doi: 10.15142/t3td19.

- 5.L. Ali, F. Alnajjar, H. A. Jassmi, M. Gocho, W. Khan, and M. A. Serhani, "Performance evaluation of deep CNN-Based crack detection and localization techniques for concrete structures," *Sensors*, vol. 21, no. 5, p. 1688, Mar. 2021, doi: 10.3390/s21051688.

- 6.Z. Zhang et al., "Algorithm for pixel-level concrete pavement crack segmentation based on an improved U-Net model," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, p. 6553, Feb. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-91352-

U.D.C. 004.8 + 004.9:528.9

Biloshchytskyi Yevhenii

Bachelor's Student, School of Software Engineering, orcid.org/0009-0008-9285-3145
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Biloshchytskyi Artem

Bachelor's Student, School of Software Engineering, orcid.org/0009-0000-5571-4412
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Batyr Nursaya

Bachelor's Student, School of Software Engineering, orcid.org/0009-0004-7906-0416
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Biloshchytskyi Andrii

DSc (Eng.), Professor, orcid.org/0000-0001-9548-1959
Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Kyiv, Ukraine
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ANALYTICS, VISUALIZATION, AND FORECASTING OF FUEL CONSUMPTION AT GAS STATIONS

Abstract: The study addresses fragmented digital support for gas station networks, where map visualization, operational management, route planning and demand forecasting are often implemented separately. The research presents a web-based Geographic Information System for analytics, visualization and forecasting of fuel consumption at gas stations. The system integrates an interactive public map, station filtering, route building, role-based administration, audit logging, analytical dashboards and a machine-learning module for short-term fuel demand forecasting. The implementation uses Next.js, React, FastAPI, PostgreSQL, MapLibre GL JS, ECharts and external geospatial services. The forecasting module applies time-based, lag, rolling average and contextual features, while a Random Forest Regressor estimates hourly fuel consumption. Experimental results show that the model explains a substantial part of demand variation and can serve as a prototype decision-support component for operational planning. The results confirm the relevance of combining Web GIS technologies and predictive analytics for fuel retail management.

Keywords: *Geographic Information System; fuel consumption forecasting; Web GIS; machine learning; gas stations; data analytics; route planning*

Introduction

Most gas station networks store data about station locations, fuel availability, prices, and fuel consumption in digital systems. However, this data is often kept in different tools. For example, the map can be separate from the management system, and forecasting can be done in another application. Because of this, users may spend more time finding a suitable station, while managers have to work with disconnected data.

GIS technologies are useful for this task because each gas station has a real location on the map. A web map allows users to view stations, use filters, check distance, and build routes. At the same time, dashboards and forecasting tools can help managers understand fuel demand and station performance. Therefore, combining Web GIS, data analysis, and forecasting can make gas station management more convenient and practical [1, 2].

Goal

The purpose of this study is to design and implement a web-based GIS platform for visualization, administration, analytics, and short-term forecasting of fuel consumption at gas stations. The study focuses on combining public map functions, role-based management tools, and predictive analytics within a unified client-server architecture.

Main part

The developed system follows a client-server architecture. The frontend was implemented using Next.js, React, TypeScript, Bootstrap, MapLibre GL JS, and ECharts. It provides the public map, station cards, filters, route visualization, login pages, administration panels, and analytical dashboards. The backend was developed using FastAPI, SQLAlchemy, Pydantic, and PostgreSQL. It processes API requests, validates data,

manages authorization, stores station records, and provides data for the map and dashboard.

The public map displays gas stations as markers on OpenStreetMap-based tiles. Each station includes its name, address, brand, working status, coordinates, fuel types, and prices. Users can filter stations by fuel type, price range, brand, and distance. Browser geolocation is used to detect the user's current position, while radius search shows only stations within the selected area. After selecting a marker, the user can open a station card and build a route to it using external routing services.

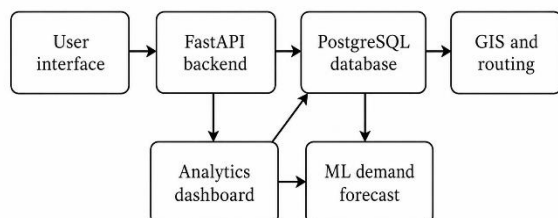


Figure 1. General architecture of the developed Web GIS platform

The administration module is organized through role-based access control. Regular users can work only with the public GIS functions. Administrators can manage only the stations assigned to them, including prices, working status, working hours, and fuel availability. The super administrator has full access to station management, user creation, station assignment, and audit-log monitoring. This structure protects operational data and keeps the history of changes clear and traceable.

The analytical module expands the system beyond basic map visualization. Dashboard cards show the number of stations, average workload, predicted fuel demand, risk zones, fuel deficit, and brand distribution. Charts are generated with ECharts and adapted to the current user role: an administrator sees only assigned stations, while the super administrator receives a complete system-wide view. The expansion module also supports strategic planning by highlighting recommended zones for future stations based on demand indicators, road accessibility, and existing station density.

Table 1. - Key functional modules of the developed GIS platform

Module	Main function	Practical value
GIS map	Visualizes gas stations and supports filtering by fuel type, price, brand, and distance	Helps users quickly find suitable gas stations
Admin panel	Manages station data, fuel prices, working status, and assigned stations	Improves operational control and data updating
Analytical dashboard	Displays KPI cards, workload indicators, and summary analytics	Supports monitoring and decision-making
Forecasting module	Predicts short-term fuel demand based on historical data	Helps plan fuel supply and reduce shortage risks

The machine-learning component is defined as a supervised regression task. The target variable is hourly fuel consumption in liters. The input features include hour, weekday, month, weekend status, cyclic time features, previous-hour sales, rolling averages, holiday and event indicators, real Brent price, weekly supply, and a vehicle-count proxy. A chronological train-test split was used to reflect realistic forecasting conditions. The Random Forest Regressor was selected because it performs well on tabular data, captures non-linear relationships, and provides interpretable feature importance values.

The implementation results show that the prototype supports four practical tasks: public geospatial search, controlled administrative editing, analytical monitoring, and short-term demand forecasting. The map module provides filtering, radius search, station cards, and route building. The administration module includes RBAC, station assignment, and audit logging. The dashboard module presents KPI cards, workload indicators, and risk zones, while the forecasting module supports short-term planning through a trained regression model.

The obtained forecasting results were MAE = 38.82 liters, RMSE = 56.97 liters, $R^2 = 0.8369$, and MAPE = 17.40%. These values show that the model captures the main hourly demand patterns and can be used as a prototype forecasting component. Future improvements

may include real vehicle-flow data, weather variables, longer historical records, and separate models for different fuel types [3].

Conclusions

The developed system shows that Web GIS technologies can be effectively combined with administrative tools, analytical dashboards, and machine-learning forecasting in one platform. The prototype allows users to find gas stations, compare fuel information, and build routes, while administrators can update station data, monitor workload, and use forecast indicators for operational planning.

References

1. Longley P. A. Geographic Information Science and Systems / P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2015. – 496 p.
2. Kitchin R. The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences / R. Kitchin. – London : SAGE Publications, 2014. – 240 p.
3. Batyr N. Integrating machine learning and computer vision for fuel consumption forecasting and vehicle flow analytics at gas stations / N. Batyr, K. Kanafina, Y. Biloshchytskyi, Z. Baimukanova // Priority directions of science and education development : proceedings. – 2024. – P. 219–231.

U.D.C. 004.8 + 004.93

Alikhanova Zarina

Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Orynassar Nuray

Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Shpringer Artyom

Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF MODELS FOR PREDICTING USER ACTIVITY IN FITNESS APPLICATIONS USING NEURAL NETWORKS

Abstract: The study addresses the problem of expensive annotation of inertial sensor data in Human Activity Recognition for fitness applications. The research investigates the effectiveness of self-supervised learning approaches for activity recognition using accelerometer and gyroscope signals. SimCLR, TS-TCC, and ConvAE were evaluated as self-supervised pretraining frameworks on the UCI HAR, WISDM, and PAMAP2 datasets. The pretrained representations were further used in CNN-BiLSTM, TCN, and Transformer classifiers. Experimental results demonstrated that filtered fitness-oriented taxonomies improve latent space separability and reduce inter-class ambiguity. CNN-BiLSTM achieved the most stable classification accuracy, while TCN demonstrated a more efficient trade-off between accuracy and training time. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed two-stage pipeline for Human Activity Recognition tasks and demonstrate the potential of self-supervised learning for mobile and edge-oriented fitness applications.

Keywords: Human Activity Recognition; self-supervised learning; fitness applications; CNN-BiLSTM; TCN; Transformer; inertial sensors

Introduction

Human Activity Recognition (HAR) systems are widely used in fitness applications, wearable devices, and digital health monitoring platforms. Modern smartphones and smartwatches continuously generate inertial sensor data from accelerometers and gyroscopes; however, reliable annotation of such signals remains expensive and difficult to scale [1]. Unlike image datasets, short time-series windows cannot be reliably labelled after collection without controlled observation protocols. This limitation makes self-supervised learning especially relevant for wearable sensor-based HAR [2,3].

Recent studies demonstrate that self-supervised representation learning can significantly improve downstream activity classification performance while reducing dependence on manually labelled datasets. At the same time, there is still no clear consensus regarding which pretraining strategy and classification architecture provide the best trade-off between recognition quality and computational efficiency under mobile-device constraints.

Goal

The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of self-supervised pretraining methods and modern deep learning architectures for wearable sensor-based Human Activity Recognition (HAR). The study

focuses on comparing representation quality, classification performance, and computational efficiency under a unified experimental framework.

Main part

The experiments were conducted on three public HAR datasets: UCI HAR, WISDM, and PAMAP2. All datasets were converted into a unified tensor representation consisting of 128 temporal steps and 6 inertial channels, including three-axis accelerometer and gyroscope signals. Both filtered and unfiltered activity configurations were evaluated in order to analyse the influence of class granularity on latent representation quality and classification performance.

The proposed framework consisted of two stages (Fig.1). In Stage 1, self-supervised representation learning was performed without using activity labels during encoder optimisation. The following self-supervised architectures were investigated: SimCLR; TS-TCC; Convolutional Autoencoder (ConvAE).

Representation quality was evaluated using linear probe accuracy and k-nearest neighbour (kNN) classification.

In Stage 2, pretrained representations were transferred into supervised classification models, including: CNN-BiLSTM; Temporal Convolutional Network (TCN); Transformer. Classification performance was evaluated using Accuracy and weighted F1-score.

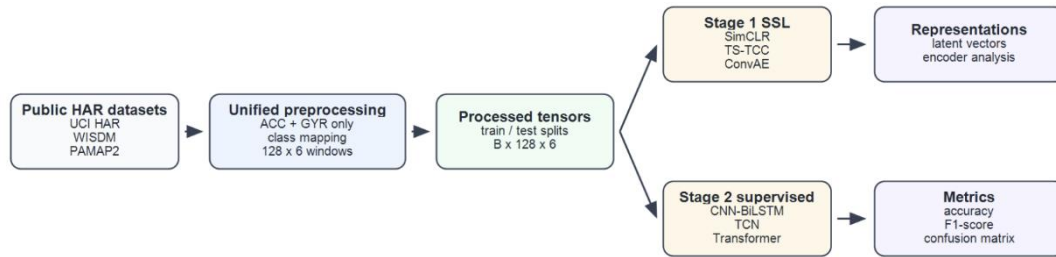


Figure 1. Two-stage HAR framework including self-supervised pretraining and supervised activity classification

The experimental results demonstrated that self-supervised neural networks successfully learned meaningful latent representations from unlabeled inertial sensor signals. SimCLR and TS-TCC achieved stronger global class separability, while ConvAE provided superior local neighborhood organization in latent space.

The filtered activity configurations produced substantially higher representation quality and classification performance compared to unfiltered

settings. Activities such as walking, running, and cycling formed compact and well-separated clusters in latent space visualizations. In contrast, semantically similar activities generated overlapping regions and increased classification ambiguity.

Table 1 demonstrates that TCN provides the most practical balance between recognition quality and computational efficiency, while CNN-BiLSTM achieves the strongest accuracy on complex activity configurations.

Table 1. – Comparative performance of supervised HAR architecture

Model	Accuracy Trend	Weighted F1	Training Efficiency	Main Observation
CNN-BiLSTM	Highest on complex multi-class tasks	High	Slow	Strong temporal modelling capability
TCN	Competitive and stable	High	Fastest	Best trade-off between accuracy and efficiency
Transformer	Competitive on large datasets	Variable	Computationally expensive	Sensitive to dataset size and training conditions

Error analysis based on confusion matrices revealed that most classification errors occurred between biomechanically similar activities, including ascending and descending stairs or sitting and standing activities. Such behaviour confirms the complexity of distinguishing activities with highly correlated inertial patterns.

The obtained results also indicate that self-supervised pretraining improves downstream classification stability, especially under filtered activity taxonomies. The experimental pipeline demonstrated that careful preprocessing and architecture selection are as important as the learning objective itself for wearable sensor-based HAR systems.

Conclusions

The conducted research confirmed the effectiveness of self-supervised representation learning for wearable Human Activity Recognition systems. The results showed that neural networks can extract informative latent representations from unlabeled inertial sensor data and successfully transfer them to downstream classification tasks.

The study also demonstrated that preprocessing strategy, activity class mapping, and architecture selection significantly affect recognition quality. Among the evaluated supervised models, the Temporal Convolutional Network achieved the most favorable balance between classification performance and computational efficiency, making it a promising solution for wearable fitness and health-monitoring applications.

References

1. Kaseris M. A comprehensive survey on deep learning methods in human activity recognition / M. Kaseris, I. Kostavelis, S. Malassiotis // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2024. – Vol. 6, No. 2. – P. 842–876.
2. Chen T. A simple framework for contrastive learning of visual representations / T. Chen, S. Kornblith, M. Norouzi, G. Hinton // Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML 2020). – 2020. – P. 1597–1607.
3. Eldele E. Time-series representation learning via temporal and contextual contrasting / E. Eldele, M. Ragab, Z. Chen et al. // Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2021). – 2021. – P. 2352–2359.

УДК 004.896:628.1

Учень Данило

Здобувач вищої освіти,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Бардін Ярослав

асистент кафедри ІТ, <https://orcid.org/0009-0008-5884-0340>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА З ІНТЕГРАЦІЄЮ У СИСТЕМУ “РОЗУМНИЙ ДІМ”

У роботі розглянуто задачу розроблення інтелектуальної системи керування побутовим водопостачанням, що поєднує локальну автоматику на базі ESP32 з дистанційним моніторингом у Home Assistant. Результати дослідження. Запропоновано архітектуру контролера з датчиками нижнього та верхнього рівнів води, оптоізольованими входами, зсувним регістром 74HC595, релейним модулем, індикатором TM1637 і програмною логікою ESPHome. Рішення може бути використане для підвищення надійності автономного водопостачання приватного будинку, захисту насоса та забезпечення віддаленого контролю.

Ключові слова: ESP32; Home Assistant; ESPHome; система водопостачання; автоматизація; розумний дім; датчики рівня; дистанційний моніторинг

Постановка проблеми

Автономні системи водопостачання приватних будинків часто працюють на основі поплавкових вимикачів, реле тиску або ручного керування насосом. Такі рішення доступні, але мають обмежену логіку, не забезпечують дистанційного контролю та не завжди реагують на помилки датчиків, відсутність води або втрату живлення. Це підвищує ризик сухого ходу насоса, переповнення бака й пошкодження обладнання. Тому актуальним є створення програмно-апаратного контролера, який виконує локальне керування і передає стан системи користувачу через платформу “розумного дому”. Для побутового об’єкта важливими є невисока вартість, простий монтаж і можливість розширення, тому ESP32 у поєднанні з ESPHome та Home Assistant є доцільним компромісом між функціональністю й доступністю [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні IoT-рішення активно застосовуються для автоматизації інженерних систем житлових будинків. ESP32 має вбудовані засоби бездротового зв’язку, периферійні інтерфейси та широку підтримку в екосистемі розробки [1]. ESPHome дає змогу описувати датчики, виконавчі пристрої й автоматизації у YAML-конфігурації [2], а Home Assistant об’єднує пристрої в єдине середовище моніторингу та керування [3].

Для розширення кількості виходів доцільно використовувати SN74HC595, який реалізує 8-бітний послідовно-паралельний інтерфейс і має тристанові

виходи [4]. Для підвищення електробезпеки датчиків рівня застосовуються оптопари PC817, що забезпечують гальванічне розділення між сенсорним контуром і логікою контролера [5].

Мета статті

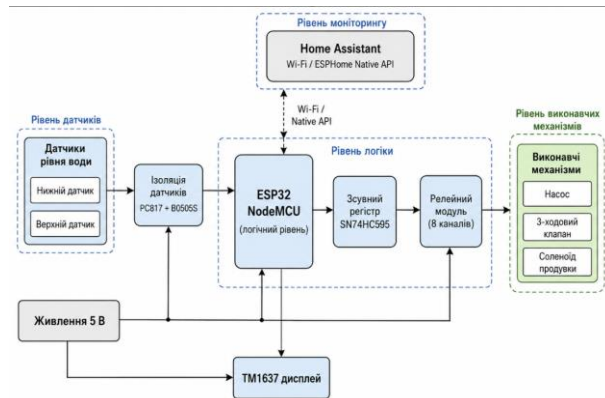
Метою роботи є обґрунтування структури та логіки функціонування інтелектуальної системи керування водопостачанням на базі ESP32 з інтеграцією у систему “розумний дім”. Для цього необхідно визначити склад апаратних модулів, описати автоматичний цикл, передбачити аварійні стани та показати можливості дистанційного моніторингу.

Виклад основного матеріалу

Розроблена система призначена для керування побутовою схемою “свердловина - насос - триходовий клапан - накопичувальний бак - споживач”. Центральним елементом є ESP32, який приймає сигнали від двох дискретних датчиків рівня води. Нижній датчик визначає потребу в запуску циклу, а верхній фіксує досягнення максимального рівня. Для зменшення впливу вологості, наведень і різниці потенціалів входи датчиків передбачено через оптоізоляцію.

Керування виконавчими механізмами виконується через 74HC595 і 8-канальний релейний модуль. У базовій конфігурації використовуються три канали: для насоса, триходового клапана та соленоїда продувки, а інші залишаються резервними. Локальне інформування забезпечує індикатор

TM1637, на якому можуть відображатися коди режимів і помилок.



Рисунка 1 - Структурна схема інтелектуальної системи керування водопостачанням на базі ESP32

Програмна логіка реалізується як автомат станів. У режимі очікування контролер аналізує сигнали датчиків. Якщо система працює автоматично і нижній датчик фіксує недостатній рівень води, запускається дренаж: клапан переводиться у напрямку зливу, а насос вмикається на час T_{drain} . Після цього потік перемикається у бак і триває наповнення. Коли верхній датчик фіксує потрібний рівень, насос вимикається, клапан повертається у безпечне положення, а соленоїд продувки активується на час T_{purge} .

Аварійна логіка охоплює неузгодженість датчиків, таймаут наповнення та примусову зупинку. Якщо верхній датчик показує наявність води за відсутності сигналу нижнього рівня, система переходить у стан помилки. Якщо бак не досягає верхнього рівня за час $T_{\text{fill_max}}$, насос вимикається. Після перезапуску всі виконавчі виходи ініціалізуються у вимкненому стані, що забезпечує безпечний старт після зникнення живлення.

Інтеграція з Home Assistant дає змогу переглядати стан датчиків, режим роботи, код помилки, стан насоса, клапана та соленоїда, а також змінювати параметри таймерів. Базова автоматика виконується локально на ESP32, тому короткочасна втрата Wi-Fi або недоступність Home Assistant не повинні спричиняти самовільне вмикання навантажень.

Працездатність системи перевірялася шляхом стендових випробувань основних режимів. Було протестовано автоматичний запуск циклу при зниженні рівня води, дренаж, наповнення, продувку, ручне керування, аварійну зупинку, помилку датчиків, таймаут наповнення, втрату зв'язку з Home Assistant і безпечний стан після перезапуску. Результати підтвердили працездатність запропонованої логіки.

Особливістю запропонованого підходу є поєднання простих апаратних засобів із гнучкою програмною логікою. Класичні реле та дискретні датчики залишають систему зрозумілою для монтажу й обслуговування, а ESPHome дозволяє швидко змінювати параметри без повного переписування програмного коду. Це важливо для приватного будинку, де фактичний час дренажу, швидкість наповнення бака та умови експлуатації можуть відрізнятися залежно від свердловини, насоса, довжини трубопроводу та сезонних умов.

Практичне значення розробки полягає в тому, що вона може бути реалізована як недорогий контролер для автономного водопостачання з подальшим масштабуванням. До системи можна додати датчик протікання, контроль тиску, резервне живлення або повідомлення про аварії. Завдяки цьому рішення може не лише автоматизувати подачу води, а й виконувати функцію профілактичного захисту обладнання та зменшення ризику побутових аварій.

Висновки

У роботі обґрунтовано підхід до побудови інтелектуальної системи керування водопостачанням на основі ESP32, ESPHome та Home Assistant. Запропонована архітектура поєднує локальну автоматичну логіку, оптоізольований контроль рівня води, релейне керування виконавчими механізмами та дистанційний моніторинг. На відміну від класичних електромеханічних рішень, система підтримує змінні параметри роботи, індикацію станів та аварійне блокування.

Список літератури

1. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Version 5.2. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/es32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 23.05.2026).
2. ESPHome. Native API Component. URL: <https://esphome.io/components/api/> (дата звернення: 23.05.2026).
3. Home Assistant. ESPHome integration. URL: <https://www.home-assistant.io/integrations/esphome/> (дата звернення: 23.05.2026).
4. Texas Instruments. SNx4HC595 8-Bit Shift Registers With 3-State Output Registers: datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf> (дата звернення: 23.05.2026).
5. SHARP Corporation. PC817XxNSZ1B Series: photocoupler datasheet. URL: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B_e.pdf (дата звернення: 23.05.2026).

Anatolii Serdiuk

<https://orcid.org/0000-0002-0787-3889>

Warsaw University of Technology Warsaw, Poland

Povar Victoriia

Senior Lecturer of the Department of Language Training and Communication, orcid.org/0009-0000-0197-5262

Kyiv National University of Construction and Architecture Povitrianykh Syl ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037

AN EVOLUTIONARY SWARM MODEL FOR DECENTRALIZED NAVIGATION AND LOCAL POSITIONING OF UAVs

Abstract. This paper addresses the problem of decentralized control and navigation of unmanned aerial vehicle (UAV) swarms operating under uncertainty and communication constraints. An evolutionary swarm model of information interaction among agents is proposed. The model combines inertia, cognitive adaptation, social synchronization, and adaptive leadership mechanisms to ensure coordinated collective behavior without centralized control or satellite navigation. The proposed approach supports collective trajectory formation, local positioning refinement, and automatic recovery of swarm integrity after communication disruptions. The obtained results can be used in the development of resilient distributed artificial intelligence systems for multi-agent aerial platforms.

Ключові слова: *UAV swarm, decentralized control, local positioning, swarm intelligence, collective navigation, artificial intelligence*

Introduction

The rapid development of unmanned aerial vehicle technologies has led to the widespread use of UAV swarms in surveillance, environmental monitoring, mapping, search-and-rescue operations, and military applications. Compared with single-agent systems, UAV swarms provide improved coverage, fault tolerance, and mission efficiency. However, ensuring stable navigation and positioning in decentralized environments remains a challenging problem.

Traditional centralized control architectures are sensitive to communication failures, bandwidth limitations, and single points of failure. Therefore, modern research increasingly focuses on decentralized swarm intelligence approaches, where global behavior emerges from local interactions among autonomous agents..

Purpose

The purpose of this study is to develop an evolutionary swarm model for decentralized UAV navigation and local positioning that combines cognitive memory, adaptive leadership, and information connectivity mechanisms to improve navigation robustness and collective coordination under uncertain operating conditions.

Presentation of the main content

The proposed model interprets a UAV swarm as a self-organizing adaptive system consisting of autonomous agents capable of exchanging information with neighboring UAVs and the surrounding

environment. Swarm behavior is formed through continuous interaction between three key components:

- inertia, reflecting previous motion history;
- cognitive adaptation, based on previously successful states;
- social synchronization, determined by neighboring agents and temporary leaders.

Unlike conventional swarm models, the proposed approach introduces temporary elite groups that influence the trajectories of neighboring agents and facilitate collective adaptation. The swarm evolves through several stages:

individual particle → conglomerate → proto-swarm → swarm

Information connectivity is considered a measurable condition of swarm existence. Maintaining connectivity enables collective positioning refinement and recovery of swarm integrity after communication failures. The architecture of information interaction within the UAV swarm is presented in Figure 1.

The proposed approach allows UAVs to maintain coordinated motion without relying on external navigation infrastructure. During swarm evolution, the influence of inertia dominates at early stages, enabling exploration of the environment. As the swarm structure stabilizes, social interaction becomes dominant, ensuring coherent collective behavior.

Simulation scenarios demonstrated that the swarm preserves connectivity under communication delays, supports dynamic transfer of leadership, and automatically restores topology after partial loss of agents. These properties increase navigation stability and positioning accuracy in uncertain environments..

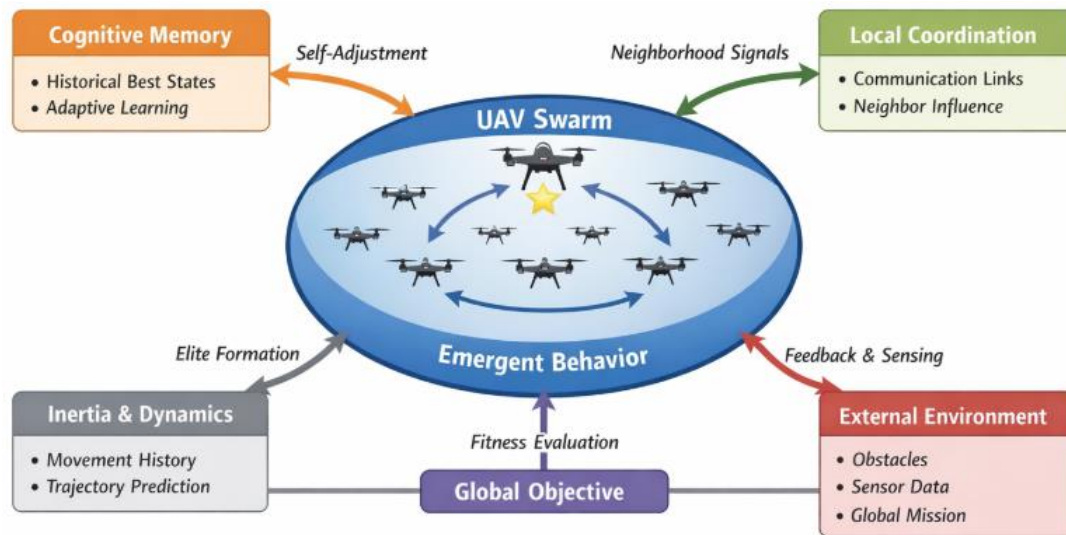


Figure 1 – Architecture of information interaction in a UAV swarm

Table 1 - Functional Components of the Evolutionary UAV Swarm Model

Swarm Component	Main Function	Contribution to Navigation
Cognitive Memory	Stores historically successful states and trajectories	Improves positioning accuracy and adaptive behavior
Social Synchronization	Coordinates motion through local interactions between neighboring agents	Ensures coherent collective movement
Adaptive Leadership	Forms temporary elite groups that guide swarm evolution	Increases navigation stability and convergence speed
Information Connectivity	Maintains information exchange among agents	Preserves swarm integrity under communication constraints
Inertia Mechanism	Accounts for previous motion history	Supports trajectory continuity and stability
Adaptive Recovery	Reconstructs swarm topology after agent loss or communication disruption	Enhances fault tolerance and survivability

The proposed evolutionary swarm model integrates several functional components that collectively ensure robust decentralized navigation and local positioning of UAVs. As shown in Table 1, cognitive memory enables agents to exploit previously successful states, while social synchronization facilitates coordination through local interactions. Adaptive leadership mechanisms support the formation of temporary elite groups that guide swarm evolution under dynamic conditions. Information connectivity serves as a critical factor for maintaining swarm integrity, whereas inertia preserves motion stability. Additionally, adaptive recovery mechanisms allow the swarm to reconstruct its topology and continue mission execution even after communication failures or partial loss of agents.

Conclusion

The developed evolutionary swarm model provides a unified framework for decentralized UAV navigation and local positioning. The proposed approach integrates cognitive memory, adaptive leadership, and information connectivity mechanisms into a single swarm intelligence architecture.

The obtained results demonstrate that collective navigation can be achieved without centralized

supervision while maintaining swarm integrity and adaptability. The proposed model may serve as a foundation for future distributed artificial intelligence systems, cooperative localization methods, and resilient UAV swarm control architectures operating in complex environments.

References

- 1.Horda E., Riabchun Y., Serdiuk A. Local Positioning of the Particle Swarm. *Proceedings of the International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry*, 2025.
- 2.Zhu Y. Formation of Flight Control for a Group of Unmanned Aerial Vehicles Based on a Multi-Agent Swarming Model. *Computing, Telecommunications and Control*. 2022. Vol. 15(4). P. 22–36.
- 3.Hönig W., Preiss J.A., Kumar T.K.S., Sukhatme G.S., Ayanian N. Trajectory Planning for Quadrotor Swarms. *IEEE Transactions on Robotics*. 2018. Vol. 34(4). P. 856–869.
- 4.Gad A.G. Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. Vol. 29. P. 2531–2561.
- Horda O., Riabchun Y. Genetic Optimization of a Particle Swarm in Metaphorical Algorithms. *Problems of Control and Informatics*. 2023. Vol. 68(6). P. 24–34

U.D.C. 004.8:004.93

Alibek Anel

Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Simakhina Darya

Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

Biloshchytska Svitlana

DSc (Eng.), Associate Professor, orcid.org/0000-0002-0856-5474
Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Kyiv, Ukraine
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR INTELLIGENT ANALYSIS OF EMOTIONAL PATTERNS IN MEDIA CONTENT BASED ON VIEWER FEEDBACK AND SCRIPT DATA

Abstract: Most existing studies in media analytics examine either the author's intent or the audience's reaction separately, leaving the quantitative analysis of alignment between screenplay emotions and viewer emotions insufficiently explored. This study develops and experimentally evaluates an intelligent system for analyzing emotional patterns in film scripts and viewer reviews using deep-learning models. Four neural classifiers — BERT-base, DistilBERT, ELECTRA-small, and a hybrid RoBERTa-LSTM — were fine-tuned on the dair-ai/emotion corpus and applied through a unified cross-domain pipeline to 1086 paired films from a screenplay corpus and manually collected IMDb reviews. Emotional profiles were compared using cosine similarity and Pearson correlation, with corpus-level z-normalization and statistical hypothesis testing. ELECTRA-small reached the best classification quality (93.5% accuracy, 89.5% macro-F1) despite being the most compact model, while the hybrid RoBERTa-LSTM produced the largest cross-domain alignment gap. The obtained results confirm a statistically significant correspondence between authorial intent and audience perception and demonstrate the applicability of the approach in media analytics and recommender systems.

Keywords: emotion analysis; natural language processing; Transformers; hybrid model; movie scripts; audience reviews; affective computing; media analytics

Introduction

The contemporary media industry increasingly relies on artificial-intelligence tools to assess how artistic content is perceived by audiences. However, most existing studies approach this problem from only one side — by analyzing the author's intent or the audience's reaction in isolation [1, 2]. The joint examination of both sides, equipped with quantitative metrics of alignment between the emotions encoded by the screenwriter and the emotions experienced by the viewer, has remained an underdeveloped direction, which determines the scientific and practical significance of this work.

According to the research hypothesis, a measurable alignment exists between screenwriters' intentions and spectators' emotions, and this alignment can be modeled using deep learning and text analytics. The study classifies emotions into six categories — joy, love, sadness, anger, fear, and surprise — in both scripts and reviews, and then quantitatively compares their emotional profiles.

Goal

The purpose of this study is to develop and experimentally evaluate an intelligent system for recognizing and comparing emotional patterns in film

screenplays and viewer reviews using deep-learning models.

Main part

The empirical foundation consists of three independent but taxonomically consistent corpora. The reference training corpus dair-ai/emotion contains 20000 short English texts labeled across six emotions and split into 16000 training, 2000 validation, and 2000 test instances. The film-script corpus hakkam10/screenplay_emotions provides 1096 movies with 109600 emotion-labeled narrative segments. The review corpus was collected manually from IMDb, with five reviews for each of the 1096 films, yielding 5480 reviews. A unified six-emotion taxonomy across all corpora allows the trained classifier to be applied directly to the target texts without relabeling.

A common preprocessing pipeline was applied to all corpora: lowercasing, removal of HTML tags, URLs, user mentions, and out-of-vocabulary characters, hashtag unwrapping, and whitespace normalization, while emotion-bearing punctuation was preserved. Sixteen normalized duplicates were removed from the training set to prevent data leakage. Long scripts and concatenated reviews were segmented into roughly 100-word chunks, and per-film profiles were obtained by averaging the softmax distributions over all chunks.

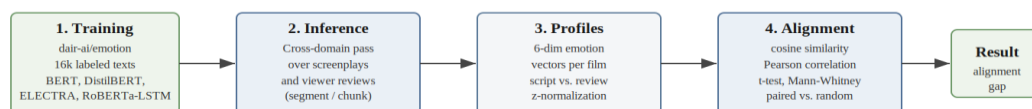


Figure 1. Architecture of the cross-domain emotional-pattern alignment pipeline

Four classifiers were implemented within an identical training protocol (Table 1): BERT-base and DistilBERT as encoder baselines, ELECTRA-small as a compact discriminative model, and a hybrid RoBERTa-LSTM combining a RoBERTa encoder with a bidirectional LSTM aggregation layer. All models share an AdamW optimizer with weight decay 0.01, a linear learning-rate schedule with warm-up, label smoothing, gradient clipping, mixed-precision training, and early stopping on the validation weighted F1-score.

The system architecture for emotional-pattern alignment, shown in Fig. 1, consists of four functional blocks: cross-domain inference, construction of six-dimensional emotional profiles for scripts and reviews, multi-metric alignment computation using cosine similarity and Pearson correlation, and statistical validation against a random-pair baseline. A corpus-level z-normalization step removes the shared domain baseline and isolates the film-specific emotional signature before similarity is evaluated. On the dair-ai/emotion benchmark all four classifiers reached test accuracy between 0.9245 and 0.9350. ELECTRA-small achieved the best macro-F1 (0.8954) despite containing only about 14 million parameters — roughly one-fifth of the other models — and outperformed four classical TF-IDF baselines as well as a popular external DistilBERT-based emotion classifier. Per-class analysis showed strong results for dominant emotions (sadness and joy with F1 above 0.95) and the expected difficulty for the rarest class, surprise. A permutation test confirmed that the observed accuracy is far above chance.

The central experiment analyzed emotional alignment between screenplays and reviews over 1086 paired films. Raw cosine similarities of paired profiles were uniformly high (0.7520–0.8247) but nearly identical to the random-pair baseline, confirming that they mostly reflect a shared domain baseline. After z-normalization, a clear and statistically significant alignment effect emerged for all four classifiers, with mean z-cosine gaps between +0.069 and +0.104 and p-values below 0.001 for both Student's t-test and the Mann–Whitney U-test.

Notably, the hybrid RoBERTa-LSTM produced the largest alignment gap (+0.1044) even though it did not achieve the best single-text classification metrics, suggesting that the recurrent aggregation block is particularly beneficial for the alignment task. Per-film analysis identified films with high alignment, where an explicit emotional core is preserved from script to audience (American History X, Hellraiser, Miami Vice), and films with low alignment, where authorial and viewer emotions diverge in informative ways (The King

of Comedy, Star Wars: A New Hope). The Pearson correlation between the per-film judgments of the two strongest classifiers was about 0.61 ($p < 0.001$), confirming cross-model consistency.

Table 1 - Classification metrics on the dair-ai/emotion benchmark and model size

Model	Acc.	F1-w	F1-m
BERT-base	0.931	0.931	0.889
DistilBERT	0.933	0.933	0.894
RoBERTa-LSTM	0.925	0.926	0.883
ELECTRA-small	0.935	0.935	0.895

Acc. = accuracy; F1-w = weighted F1; F1-m = macro F1. ELECTRA-small has $\approx 14M$ parameters versus 66–127M for the others.

Conclusions

This work developed and empirically evaluated an intelligent system for analyzing emotional patterns in media content based on the joint examination of film screenplays and viewer reviews. Four Transformer-based classifiers were fine-tuned on a reference emotion corpus and applied through a unified cross-domain pipeline with corpus-level z-normalization and rigorous statistical testing. The results provide statistically robust quantitative support for the central hypothesis: a measurable and significant correspondence exists between the emotions encoded by screenwriters and the emotions experienced by viewers. ELECTRA-small offered the best classification quality at the smallest size, whereas the hybrid RoBERTa-LSTM yielded the strongest alignment signal. Future work includes modeling temporal emotional dynamics, multilingual extension, integration of multimodal signals, and interpretability methods.

References

1. Ocal A. Cinematic narratives as socio-technical systems: emotion mining and script–audience emotional fidelity / A. Ocal // Systems. – 2025. – Vol. 13, No. 11.
2. Plaza-del-Arco F. M. Emotion analysis in NLP: trends, gaps and roadmap for future directions / F. M. Plaza-del-Arco, A. Cercas Curry, A. Cercas Curry, D. Hovy // Proceedings of LREC-COLING 2024. – Torino, 2024. – P. 5696–5710.
3. Tan K. L. RoBERTa-LSTM: a hybrid model for sentiment analysis with transformer and recurrent neural network / K. L. Tan, C. P. Lee, K. S. M. Anbananthen, K. M. Lim // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 21517–21525.

U.D.C. 004.8:332.6

Byurabekova AlinaBachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan**Serzhan Amina**Bachelor's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan**Bukayeva Mira**Senior Lecturer, School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, Astana, 010000, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING MODELS FOR REAL ESTATE PRICE PREDICTION

Abstract: Accurate residential property valuation is important for buyers, investors, real estate platforms and urban planning authorities. In rapidly developing cities such as Astana, housing prices depend on apartment characteristics and spatial accessibility to schools, universities, parks, the city center and transport infrastructure. Research results. This paper presents a machine learning framework for predicting price per square meter using listings collected from krisha.kz and engineered geospatial features. Linear Regression, Random Forest, XGBoost and CatBoost were compared under the same experimental setup. With geospatial features, XGBoost achieved the best performance: RMSE 88,847 KZT/m², MAPE 10.02%, and R² 0.772. SHAP analysis confirmed that year of construction, total area, district indicators and distances to key urban facilities are among the most influential factors. Conclusions. The integration of structural and spatial features improves prediction accuracy and provides interpretable insights into the Astana housing market.

Keywords: machine learning; real estate price prediction; geospatial features; XGBoost; Random Forest; CatBoost; SHAP analysis

Introduction

The residential real estate market affects household decisions, investment planning, mortgage assessment and urban development. In practice, analysts need not only the advertised apartment price, but also an explanation of why this price is formed. Traditional valuation approaches rely on linear or hedonic models. They are transparent, but often insufficient for heterogeneous urban markets where similar apartments may have different prices depending on district, construction year, infrastructure quality and accessibility.

For Astana, this task is especially relevant because the city is expanding rapidly and districts differ strongly in prestige and connectivity. Apartments located near the city center, universities, parks or major facilities may be priced differently from physically similar apartments in less connected locations. Therefore, price prediction requires models that can capture nonlinear relationships between structural and spatial factors while remaining interpretable.

Goal

The goal of this paper is to develop and evaluate machine learning models for predicting residential real estate prices in Astana using structural property characteristics and engineered geospatial features. The research includes data preprocessing, construction of distance-based indicators, comparison of regression

models, and interpretation of predictions using SHAP and spatial analysis.

Main part

Recent research on automated valuation models shows that machine learning methods are increasingly used for housing price prediction because they can process heterogeneous tabular data and model complex feature interactions [1; 2]. Linear Regression remains a common baseline due to its interpretability and connection with traditional hedonic pricing models, while tree-based ensemble methods usually demonstrate stronger predictive accuracy [3; 4]. Random Forest improves stability by averaging many decision trees, whereas XGBoost and CatBoost build trees sequentially and correct previous prediction errors, which makes them effective for nonlinear real estate valuation tasks [4; 5].

The literature also emphasizes the value of external spatial data in housing price prediction. Distances to public facilities, parks, schools, universities, and transport nodes may provide information that is not visible from apartment attributes alone [2; 6].

The empirical dataset was constructed from residential property listings collected from krisha.kz. Each observation represents an apartment listing and includes structural variables such as total area, number of rooms, floor level, total number of floors, year of construction, building type and administrative district. The target variable was defined as price per square meter to compare apartments of different sizes.

To enrich the dataset, external spatial information was added. Coordinates of schools, universities, parks, the Baiterek Tower as a city-center proxy, and the international airport were used to construct accessibility indicators. For each apartment, distance-based features were computed, including distance to the city center, airport, nearest park, private school, state school and university. Additional indicators included university density within a three-kilometer radius and average distance to the three nearest universities.

The modeling framework included Linear Regression, Random Forest, XGBoost and CatBoost. Linear Regression was used as a transparent baseline, while ensemble algorithms were selected for their ability to model nonlinear dependencies and feature interactions. All models were trained and evaluated under the same experimental conditions. Hyperparameter tuning and cross-validation were applied, and model quality was evaluated using RMSE, MAPE and R^2 .

The results demonstrate the value of geospatial features. Without spatial features, ensemble models achieved MAPE values of approximately 12-13% and R^2 around 0.65-0.66, while Linear Regression reached only 0.334 R^2 and about 20% MAPE. After adding geospatial features, all ensemble models improved. XGBoost produced the best result with RMSE equal to 88,847 KZT/m², MAPE equal to 10.02%, and R^2 equal to 0.772. Random Forest and CatBoost also achieved strong results, with R^2 values close to 0.76 and MAPE near 10%.

Table 1 - Comparative performance of models with geospatial features

Model	Feature set	RMSE (KZT/m ²)	MAPE (%)	R^2
Linear Regression	With geospatial features	148471.20	19.45	0.364
Random Forest	With geospatial features	90919.21	10.21	0.761
CatBoost	With geospatial features	91241.77	10.46	0.760
XGBoost	With geospatial features	88847.30	10.02	0.772

SHAP analysis showed that year of construction, total area, distance to the city center and district indicators are among the most influential features. Random Forest distributed importance across a wider group of structural and spatial variables, while CatBoost also highlighted distance to parks and city-center accessibility. Spearman correlation supported these findings: apartments closer to the airport, city center and parks tended to have higher prices. An interesting

difference was observed for schools: proximity to private schools was associated with higher prices, while proximity to state schools showed the opposite tendency.

Spatial clustering using DBSCAN identified geographically similar groups of listings. The clusters showed that housing prices are not randomly distributed across Astana, but form spatial segments with different accessibility profiles. A StudentScore indicator was introduced to combine affordability, proximity to universities, proximity to the city center and proximity to schools. This indicator can support students and families searching for areas that balance price and convenience.

Conclusions

The study confirms that machine learning models can effectively predict residential real estate prices when structural housing attributes are combined with geospatial accessibility features. Ensemble models, especially XGBoost, Random Forest and CatBoost, substantially outperform Linear Regression because they capture nonlinear relationships between apartment characteristics and urban location.

The SHAP analysis demonstrated that model predictions are driven by meaningful factors such as construction year, apartment area, district and distance to key urban facilities. Therefore, the proposed framework is useful not only as a forecasting tool, but also as an analytical instrument for understanding local price formation. Future research may improve the model by adding public transport accessibility, healthcare facilities, crime rates, income indicators and multi-city comparisons.

References

1. Geerts M., Vanden Broucke S., De Weerd J. A survey of methods and input data types for house price prediction. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2023. Vol. 12, No. 5. Article 200. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi12050200>
2. Moreno-Foronda I., Sánchez-Martínez M.-T., Pareja-Eastaway M. Comparative analysis of advanced models for predicting housing prices: A review. *Urban Science*. 2025. Vol. 9, No. 2. Article 32.
3. Zaki J., Nayyar A., Dalal S., Ali Z. H. House price prediction using hedonic pricing model and machine learning techniques. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 2022. Vol. 34, No. 27.
4. Chen W., Farag S., Butt U., Al-Khateeb H. Leveraging machine learning for sophisticated rental value predictions: A case study from Munich, Germany. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 20. Article 9528.
5. Lahmiri S., Bekiros S., Avdoulas C. A comparative assessment of machine learning methods for predicting housing prices using Bayesian optimization. *Decision Analytics Journal*. 2023. Vol. 6. Article 100166.
6. Zhao Y., Zhao J., Lam E. Y. House price prediction: A multi-source data fusion perspective. *Big Data Mining and Analytics*. 2024. Vol. 7, No. 3. P. 603–620.

Важливу роль у програмній системі відіграє інкапсуляція даних. Вона забезпечує захист внутрішньої структури об'єктів і дозволяє взаємодіяти з даними лише через визначені методи. Завдяки цьому підвищується надійність програмного забезпечення та зменшується ризик випадкової зміни важливої інформації.

Поліморфізм забезпечує можливість використовувати єдиний інтерфейс для роботи з різними типами об'єктів. Наприклад, різні категорії ресурсів можуть мати власний спосіб обчислення вартості, але при цьому використовувати спільний метод розрахунку. Це робить програмну систему більш універсальною та спрощує її подальший супровід.

Для формування кошторису може використовуватися окремий клас, який об'єднує всі елементи розрахунку. Основною функцією такого класу є автоматичне обчислення загальної вартості будівельних робіт на основі набору доданих ресурсів. Крім того, система може підтримувати автоматичне формування звітів, друк документації, експорт даних у різні формати та оновлення цінкових показників.

Сучасні програмні системи для кошторисних розрахунків можуть інтегруватися з базами даних будівельних матеріалів, нормативними довідниками та системами управління будівельними проектами. Це дозволяє автоматично оновлювати інформацію про ціни, контролювати витрати та забезпечувати актуальність кошторисної документації.

Особливе значення має використання зручного графічного інтерфейсу користувача. Інтерфейс дозволяє швидко вводити дані, редагувати інформацію про ресурси, здійснювати пошук необхідних елементів кошторису та формувати звіти. Завдяки цьому значно підвищується ефективність роботи інженерів-кошторисників.

Автоматизація кошторисних розрахунків також сприяє скороченню часу підготовки документації та зменшенню впливу людського фактора. Це особливо важливо для великих будівельних проектів, де обсяг фінансових даних може бути дуже значним. Використання програмних систем дозволяє підвищити точність розрахунків та оптимізувати управління витратами.

Перспективним напрямом розвитку є інтеграція кошторисних систем із технологіями BIM (Building Information Modeling). Такий підхід дозволяє поєднати цифрові моделі будівель із кошторисною документацією та автоматизувати значну частину процесів проектування, будівництва й експлуатації об'єктів.

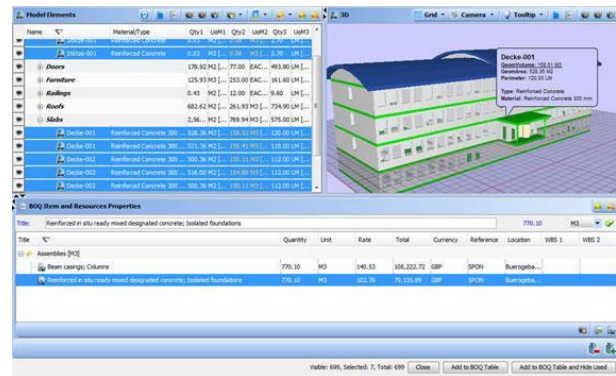


Рисунок 2 – Схема роботи програмної системи автоматизації кошторисних розрахунків

Висновок

Застосування об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації кошторисних розрахунків у будівництві дозволяє створювати ефективні, гнучкі та масштабовані програмні системи. Використання принципів успадкування, інкапсуляції та поліморфізму забезпечує структуроване подання будівельних даних, спрощує процес обробки кошторисної документації та підвищує точність фінансових розрахунків.

Автоматизація кошторисної діяльності сприяє оптимізації роботи будівельних організацій, скороченню часу підготовки документації та підвищенню ефективності управління будівельними проектами. Подальший розвиток таких систем пов'язаний із використанням сучасних інформаційних технологій, інтеграцією з BIM-системами та вдосконаленням методів автоматизованої обробки будівельної інформації.

Список інформаційних джерел

1. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Pearson, 2016.
2. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994.
3. Pressman R. Software Engineering: A Practitioner's Approach. McGraw-Hill, 2014.
4. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. Wiley, 2018.
5. Booch G. Object-Oriented Analysis and Design with Applications. Addison-Wesley, 2007.

УДК 004.4:004.7

Безпалый Євгеній

Здобувач вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Пороховніченко Іринаасистент кафедри ІТ, <https://orcid.org/0000-0001-6341-6394>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АРХІТЕКТУРА ЗАСТОСУНОКУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КОМП'ЮТЕРА ТА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Анотація: У роботі розглянуто розробку локального WPF-застосунку BitWatch для моніторингу апаратної частини комп'ютера та локальної мережі. Обґрунтовано актуальність створення простого desktop-рішення, яке відображає основні показники CPU, RAM, GPU та Network у єдиному графічному інтерфейсі. Описано модульну архітектуру застосунку, особливості збору системних даних, використання бібліотеки LibreHardwareMonitor та підхід до візуалізації показників за допомогою графіків, індикаторів і кольорового зонування.

Ключові слова: моніторинг системи, апаратна частина комп'ютера, локальна мережа, CPU, RAM, GPU, WPF, C#, .NET, LibreHardwareMonitor, BitWatch.

Вступ

У сучасних умовах персональні комп'ютери використовуються для широкого кола задач: навчання, програмування, обробки даних, роботи з графікою, відеозв'язку, комп'ютерних ігор, адміністрування та повсякденного використання інформаційних технологій. Зі зростанням складності програмного забезпечення та навантаження на апаратні ресурси підвищується потреба у зручних засобах контролю стану комп'ютерної системи. Особливо важливим є моніторинг таких компонентів, як центральний процесор, оперативна пам'ять, графічний процесор і мережеве підключення.

Актуальність теми полягає в необхідності створення простого локального застосунку, який дозволяє користувачу швидко отримувати інформацію про стан основних апаратних ресурсів комп'ютера та локальної мережі. Існуючі програмні засоби, зокрема Диспетчер завдань Windows, HWMonitor, CPU-Z, AIDA64, MSI Afterburner та NetWorx, мають широкі можливості, однак часто орієнтовані або на окремий напрям моніторингу, або на досвідчених користувачів. У результаті для перегляду різних показників користувачу нерідко доводиться відкривати декілька програм, що не завжди є зручним для щоденного використання [1–6].

Мета

Метою роботи є розробка локального WPF-застосунку BitWatch для моніторингу апаратної частини комп'ютера та локальної мережі з відображенням основних показників у зручному графічному інтерфейсі.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу апаратних ресурсів комп'ютера та параметрів локальної мережі. Предметом дослідження є методи та програмні засоби збору, обробки й візуалізації показників CPU, RAM, GPU та Network у локальному desktop-застосунку.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети було проаналізовано теоретичні основи моніторингу комп'ютерних систем і локальних мереж, розглянуто існуючі програмні засоби моніторингу, визначено функціональні та нефункціональні вимоги до застосунку, обґрунтовано вибір технологій розробки, спроектовано архітектуру та інтерфейс BitWatch, реалізовано модулі моніторингу CPU, RAM, GPU і Network, а також підготовлено інсталяційний пакет та ярлик застосунку.

У роботі було використано мову програмування C#, платформу .NET та технологію WPF. Вибір WPF зумовлений можливістю створення сучасного графічного інтерфейсу на основі XAML, використання стилів, шаблонів елементів і гнучкого налаштування зовнішнього вигляду програми. Для отримання системних показників застосовуються можливості .NET, зокрема засоби роботи з мережевими інтерфейсами та системною інформацією. Для апаратного моніторингу використовується бібліотека LibreHardwareMonitor, яка дозволяє отримувати дані з апаратних сенсорів комп'ютера [7].

Архітектура застосунку побудована за модульним принципом. Основними функціональними частинами BitWatch є модулі CPU, RAM, GPU та Network (рис. 1). Модуль CPU

відповідає за відображення поточного завантаження центрального процесора та графіка зміни навантаження. Модуль RAM показує загальний, використаний і доступний обсяг оперативної пам'яті. Модуль GPU призначений для контролю стану графічного процесора, зокрема температури та навантаження. Модуль Network забезпечує відображення активного мережевого адаптера, швидкості приймання та передавання даних.

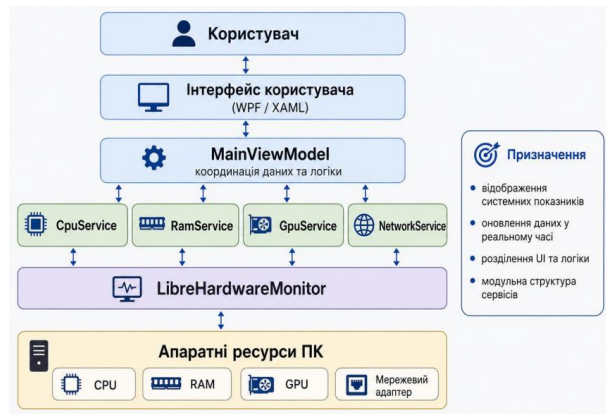


Рисунок 1. Архітектура застосунку

Графічний інтерфейс застосунку реалізований у вигляді інформаційної панелі з окремими вкладками для кожного модуля. Такий підхід дозволяє користувачу швидко переходити між різними категоріями показників і не перевантажує головне вікно зайвою інформацією. Для покращення сприйняття даних використовуються графіки, індикатори, числові значення та кольорове зонування окремих показників, зокрема температури графічного процесора.

Особливістю BitWatch є локальний принцип роботи. Застосунок не потребує серверної частини, зовнішньої бази даних або підключення до сторонніх сервісів. Усі показники отримуються безпосередньо на комп'ютері користувача, обробляються локально та відображаються в інтерфейсі. Це спрощує використання програми та робить її придатною для базового щоденного контролю стану системи.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмного продукту, який може використовуватися для швидкої оцінки стану комп'ютера та локальної мережі. BitWatch дозволяє користувачу контролювати завантаження процесора, використання оперативної пам'яті, стан графічного процесора та активність мережевого підключення без необхідності використання декількох окремих утиліт.

Висновок

У результаті дослідження було розроблено локальний WPF-застосунок BitWatch, який забезпечує базовий моніторинг апаратної частини комп'ютера та локальної мережі. Розроблене рішення має просту модульну структуру, зручний графічний інтерфейс і може бути розширене в майбутньому. Подальший розвиток застосунку може передбачати додавання моніторингу накопичувачів, журналювання показників, системи сповіщень про критичні значення та розширених налаштувань інтерфейсу.

Список літератури

1. Microsoft Learn. Troubleshoot processes by using Task Manager. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/troubleshoot/windows-server/support-tools/support-tools-task-manager>.
2. CPUID. HWMonitor — Voltages, temperatures and fans speed monitoring. URL: <https://www.cpubid.com/software/HWmonitor.html>.
3. AIDA64. System information, diagnostics & benchmarking software. URL: <https://www.aida64.com/>.
4. MSI. MSI Afterburner. URL: <https://www.msi.com/Landing/afterburner>.
5. Microsoft Learn. GPU process memory counters and Task Manager Performance pane. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/display/gpu-process-memory-counters>.
6. CPUID. CPU-Z — System information software. URL: <https://www.cpubid.com/software/cpu-z.html>.
7. SoftPerfect. NetWorx: bandwidth monitor, connection speed test, data usage reports. URL: <https://www.softperfect.com/products/networx/>.
8. Microsoft Learn. What is Windows Presentation Foundation — WPF. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/overview/>.

УДК 004.43

Бойко Іван

Студент групи КН-24-1

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гоц Владислав

к.т.н., доцент, orcid.org/0000-0003-4384-4011

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до оптимізації логістики будівельних матеріалів із використанням об'єктно-орієнтованих програмних комплексів. Запропоновано модель автоматизації процесів обліку, транспортування та контролю постачання матеріалів на будівельних об'єктах. Використання програмних рішень дозволяє зменшити витрати часу, підвищити точність управління ресурсами та покращити координацію між учасниками логістичного процесу.

Ключові слова: логістика; будівельні матеріали; об'єктно-орієнтоване програмування; програмні комплекси; автоматизація.

Вступ

У сучасному будівництві ефективна організація логістики будівельних матеріалів є важливим фактором забезпечення безперервності будівельного процесу. Невчасне постачання ресурсів, помилки в обліку або нераціональне планування маршрутів можуть призводити до затримок виконання робіт і збільшення витрат. Тому актуальним є використання програмних комплексів, що забезпечують автоматизацію логістичних процесів та оптимізацію управління матеріальними потоками.

Мета

Метою роботи є аналіз можливостей застосування об'єктно-орієнтованих програмних комплексів для оптимізації логістики будівельних матеріалів та підвищення ефективності управління постачанням.

Виклад основного матеріалу

Об'єктно-орієнтований підхід дозволяє створювати гнучкі програмні системи, у яких окремі елементи логістичного процесу описуються у вигляді класів та об'єктів. Наприклад, класи «Матеріал», «Склад», «Транспорт» і «Замовлення» забезпечують структуроване представлення даних та взаємодію між компонентами системи. Використання принципів інкапсуляції, наслідування та поліморфізму дозволяє спростити модифікацію програмного комплексу та адаптувати його до потреб конкретного будівельного підприємства.[1;2]

У процесі розробки програмного комплексу важливе значення має правильне моделювання предметної області. Для цього використовуються UML-діаграми, які дозволяють відобразити взаємозв'язки між об'єктами системи, структуру класів та послідовність виконання операцій. Завдяки цьому розробники можуть створити систему, яка буде легко масштабуватися та підтримуватися в процесі експлуатації.[2]

Одним із ключових елементів логістичної системи є модуль управління складом. Він забезпечує автоматизований облік матеріалів, контроль надходжень і витрат, а також ведення електронної документації. Система може автоматично повідомляти працівників про критичне зменшення запасів певних матеріалів та формувати заявки на їх закупівлю. Такий підхід значно підвищує ефективність управління ресурсами підприємства.

Для забезпечення ефективної доставки матеріалів використовуються алгоритми оптимізації маршрутів. Найпоширенішими є алгоритм Дейкстри, алгоритм Флойда–Уоршелла та генетичні алгоритми. Вони дозволяють визначати оптимальні шляхи транспортування з урахуванням відстані, витрат пального, дорожньої ситуації та часу доставки. У результаті підприємство може значно скоротити транспортні витрати та підвищити продуктивність роботи транспортного відділу.

Формально процес оптимізації логістики можна подати як задачу мінімізації витрат:

$$F = \sum (C_i + T_i), i = 1 \dots n \rightarrow \min \quad (1)$$

де:

- CiC_iCi — витрати на зберігання матеріалів;
- TiT_iTi — витрати на транспортування;
- nnn — кількість поставок.

У сучасних умовах важливу роль відіграє інтеграція програмних комплексів із системами GPS-моніторингу та RFID-технологіями. GPS-моніторинг дозволяє в режимі реального часу відстежувати місцезнаходження транспортних засобів і контролювати дотримання маршрутів. RFID-мітки забезпечують автоматичну ідентифікацію матеріалів на складах і будівельних майданчиках. Завдяки цьому керівники можуть оперативно отримувати інформацію про рух матеріалів і швидко реагувати на можливі затримки або помилки.

Важливою складовою програмного комплексу є база даних, у якій зберігається інформація про постачальників, транспортні засоби, залишки матеріалів та історію виконаних поставок. Це дозволяє проводити аналіз ефективності логістичних операцій та прогнозувати майбутні потреби підприємства. Крім того, використання автоматизованих систем знижує ймовірність людських помилок під час оформлення замовлень та ведення документації.[3]

Для зберігання та обробки інформації можуть використовуватися сучасні системи управління базами даних, такі як MySQL, PostgreSQL або Microsoft SQL Server. Використання реляційних баз даних забезпечує надійне зберігання інформації, швидкий доступ до даних та підтримку багатокористувацького режиму роботи. Крім цього, бази даних дозволяють створювати аналітичні звіти щодо ефективності роботи підприємства та прогнозувати потреби в матеріалах на майбутні періоди.

Сучасні програмні комплекси можуть підтримувати багатокористувацький режим роботи, що забезпечує одночасний доступ до системи різних учасників будівельного процесу. Це сприяє покращенню взаємодії між менеджерами, логістами, водіями та складськими працівниками. У результаті підвищується ефективність управління матеріальними потоками та скорочується час прийняття управлінських рішень.

Додатковою перевагою автоматизації логістики є можливість інтеграції програмного комплексу з ERP-системами підприємства. Це дозволяє об'єднати процеси логістики, фінансового обліку, управління персоналом і контролю витрат у єдиній інформаційній системі. У результаті керівництво підприємства отримує повну інформацію про стан ресурсів та може оперативно приймати управлінські рішення.

Сучасні технології також дозволяють використовувати хмарні сервіси для зберігання та обробки інформації. Хмарні технології забезпечують

доступ до системи з будь-якого пристрою, підключеного до мережі Інтернет, що особливо важливо для будівельних компаній із декількома об'єктами. Крім того, використання хмарних сервісів зменшує витрати на обслуговування серверного обладнання та підвищує надійність зберігання даних.

Перспективним напрямом розвитку логістичних програмних комплексів є застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Такі системи можуть аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати потреби у матеріалах, визначати можливі затримки поставок та автоматично коригувати графіки доставки. Використання штучного інтелекту дозволяє підвищити точність планування та ефективність управління логістичними процесами.

Також важливим аспектом є забезпечення інформаційної безпеки програмного комплексу. Оскільки система містить дані про фінансові операції, постачальників і внутрішні процеси підприємства, необхідно використовувати сучасні методи захисту інформації. До них належать шифрування даних, багаторівнева система авторизації користувачів, резервне копіювання та захист від несанкціонованого доступу.[4]

Отже, застосування об'єктно-орієнтованих програмних комплексів у сфері логістики будівельних матеріалів сприяє автоматизації основних процесів управління, підвищенню точності обліку ресурсів, оптимізації транспортних витрат і покращенню координації між усіма учасниками будівельного процесу. Це забезпечує підвищення ефективності роботи підприємства та створює умови для подальшого розвитку сучасних інформаційних технологій у будівельній галузі.

Список інформаційних джерел

- 1.Sommerville I. *Software Engineering*. 10th ed. Boston : Pearson, 2016. 816 p.
- 2.Pressman R. S. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. New York : McGraw-Hill, 2014. 912 p.
- 3.Гужва В. М. *Інформаційні системи і технології на підприємствах*. Київ : КНЕУ, 2018. 400 с.
- 4.Christopher M. *Logistics and Supply Chain Management*. 5th ed. London : Pearson, 2016. 328 p. URL: <https://www.pearson.com/en-gb/subject-catalog/p/logistics-and-supply-chain-management/P200000000241/9781292083797>

УДК 004.8

Бабіченко Олександр

здобувач ступеня бакалавра, кафедра інформаційних технологій
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Мацієвський Олексій

Асистент кафедри інформаційних технологій, orcid.org/0009-0008-2341-8166
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

FULL-STACK ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ РОБОТИ З МЕДІАКОНТЕНТОМ

Анотація: Веб-платформи для роботи з медіаконтентом стали невід'ємною частиною цифрової інфраструктури, проте більшість готових рішень обмежені у кастомізації. У роботі розроблено full-stack веб-платформу для роботи з кінематографічним медіаконтентом на базі MERN-стеку з інтеграцією TMDb API. Реалізовано компонентно-орієнтовану архітектуру на React 19 з централізованим управлінням станом через Redux Toolkit, REST API на Node.js/Express та сховище MongoDB. Результати: функціональне тестування за 18 тест-кейсами підтвердило стабільну роботу всіх сценаріїв; ергономічний аналіз за евристичними Нільсена виявив відповідність інтерфейсу вимогам юзабіліті. Висновок: запропонований підхід дозволяє реалізувати повнофункціональний медіасервіс без підтримки власної кінобази, забезпечуючи масштабованість та безпеку системи.

Ключові слова: веб-платформа; медіаконтент; React; Redux Toolkit; Node.js; MongoDB; TMDb API; JWT; full-stack розробка; компонентна архітектура.

Вступ

Сучасний ринок цифрових медіаплатформ демонструє стабільне зростання: за аналітичними даними МРА, понад 3,5 млрд людей щоденно користуються стрімінговими та контентними сервісами, а частка VOD-платформ у структурі відеоспоживання перевищує 70% [1]. Це формує стійкий попит на спеціалізовані веб-сервіси для пошуку, каталогізації та персонального відстеження кінематографічного контенту.

Наявні рішення — IMDb, Letterboxd, Kinopoisk — обмежені у можливостях кастомізації та не завжди відповідають потребам конкретної аудиторії. Побудова власної платформи на базі MERN-стеку (MongoDB, Express.js, React, Node.js) з інтеграцією зовнішнього TMDb API дозволяє гнучко визначати функціональність, самостійно керувати даними і скоротити час розробки, уникнувши підтримки власної кінобази [2].

Аналіз наукових праць виявляє повторювані технічні виклики при розробці медіаплатформ: ефективне управління глобальним станом React-застосунків, безпечна stateless-автентифікація, інтеграція зовнішніх REST API та забезпечення якості UX. Саме ці аспекти визначили фокус поточного дослідження [3].

Мета

Метою роботи є проєктування та програмна реалізація повнофункціональної full-stack веб-

платформи для роботи з кінематографічним медіаконтентом, що забезпечує: інтеграцію з TMDb API; компонентно-орієнтовану архітектуру клієнтської частини на базі React 19 з управлінням станом через Redux Toolkit; безпечну JWT-автентифікацію; персоналізовані функції — пошук, фільтрація за жанром, обрані фільми, коментарі.

Виклад основного матеріалу

Архітектура платформи побудована за трирівневою моделлю: клієнтський рівень (React SPA), серверний рівень (Node.js / Express.js REST API) та рівень зберігання даних (MongoDB через Mongoose ODM). Такий поділ забезпечує незалежне масштабування кожного рівня та чіткий розподіл відповідальності. Взаємодія між рівнями реалізована через стандартизований REST-інтерфейс із JWT-авторизацією.

Для уніфікованого представлення кінематографічного об'єкта в інформаційній системі вводиться вектор характеристик:

$F_i = (id, title, genres, rating, cast, reviews, trailer)$ (1)

де F_i — об'єкт i -го фільму, id — ідентифікатор TMDb, $title$ — назва, $genres$ — жанрові теги, $rating$ — рейтинг, $cast$ — акторський склад, $reviews$ — рецензії, $trailer$ — трейлер [4].

Клієнтська частина реалізована на React 19 із застосуванням Redux Toolkit. Стор Redux поділено на слайси: `authSlice` (стан автентифікації), `moviesSlice` (каталог і пошук), `favoritesSlice` (обрані фільми). Архітектура компонентів побудована за принципом

атомарної декомпозиції: кожен елемент інтерфейсу (картка фільму, пошуковий рядок, навігаційна панель, модальне вікно трейлера) реалізований як незалежний компонент із власним станом. Для оптимізації продуктивності застосовано React.memo, useMemo та useCallback.

Маршрутизація реалізована через React Router DOM v7 з розподілом маршрутів на публічні (головна сторінка, деталі фільму, авторизація) та захищені (профіль, обрані, коментарі). Захищені маршрути огорнуті компонентом PrivateRoute, який перевіряє наявність дійсного JWT-токена у стані Redux перед відтворенням сторінки.

Серверна частина побудована на принципах MVC: Express-маршрути передають запити контролерам, контролери звертаються до моделей через Mongoose ODM. Модель користувача описується як:

$U_i = (\text{userId}, \text{email}, \text{passHash}, \text{favorites}[], \text{comments}[])$ (2)

де *passHash* — bcrypt-хеш паролю, *favorites* — масив обраних фільмів, *comments* — масив коментарів, прив'язаних до фільму.

Автентифікація реалізована через JSON Web Token (RFC 7519). Клієнт передає токен у заголовку:

Authorization: Bearer <token> (3)

Це забезпечує stateless-автентифікацію без серверних сесій. Express middleware перевіряє підпис і термін дії токена перед кожним захищеним маршрутом. Безпека системи забезпечена комплексно: паролі — bcrypt (cost factor 10); захист від NoSQL-ін'єкцій — схемна типізація Mongoose; HTTP-заголовки безпеки — бібліотека Helmet; обмеження CORS. Такий підхід відповідає вимогам OWASP Top 10 [2].

Серверна частина побудована на принципах MVC: Express-маршрути передають запити контролерам, контролери звертаються до моделей через Mongoose ODM. Усі чутливі змінні середовища (рядок підключення MongoDB, секрет JWT, ключ TMDB API) виносяться у файл .env і не потрапляють до репозиторію. Реалізовано централізований middleware обробки помилок зі стандартизованим JSON-форматом відповіді. Для зниження навантаження на TMDB API реалізовано кешування популярних запитів на рівні сервера з TTL 10 хвилин, що скорочує час відповіді на повторні запити на 80–90%.

Ергономічний аналіз за 10 евристикami Нільсена виявив відповідність за критеріями консистентності, запобігання помилкам та естетики. Функціональне тестування охопило 18 тест-кейсів: реєстрація, вхід/вихід, пошук за назвою та жанром, перегляд деталей і трейлера, додавання до обраних, публікація та видалення коментаря. Усі критичні сценарії пройшли верифікацію [5]. Тестування проводилось у браузерях Chrome, Firefox та Safari для

забезпечення кросбраузерної сумісності. Результати підтвердили стабільну роботу платформи у всіх перевірених середовищах без критичних помилок.

Висновок

Розроблена full-stack веб-платформа демонструє ефективність застосування MERN-стеку для побудови медіасервісу. Інтеграція TMDB API дозволила зосередитися на функціях персоналізації та якості UX без витрат на наповнення кінобази. Компонентно-орієнтована архітектура React з централізованим управлінням станом через Redux Toolkit забезпечує масштабованість та передбачуваність поведінки системи. MVC-структура серверної частини і централізована обробка помилок спрощують підтримку та подальше розширення. Кешування запитів до TMDB API суттєво знижує латентність. Результати тестування підтвердили стабільну роботу всіх 18 перевірених сценаріїв у трьох браузерах. Перспективою подальшого розвитку є впровадження рекомендаційного алгоритму на основі переглянутих фільмів, розширення соціальних функцій та локалізація платформи для різних мовних аудиторій.

Список літератури

1. Motion Picture Association. THEME Report: A Look at the Global Film & TV Content Market. MPA, 2023. URL: <https://www.motionpictures.org/research-and-reports/>
2. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. 2nd ed. O'Reilly Media, 2021. 612 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/building-microservices-2nd/9781492034018/>
3. Banks A., Porcello E. Learning React: Modern Patterns for Developing Real-World Web Applications. 2nd ed. O'Reilly Media, 2020. 310 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/learning-react-2nd/9781492051718/>
4. TMDB API Documentation. [Електронний ресурс]. URL: <https://developer.themoviedb.org/docs/getting-started> (дата звернення: 15.04.2026).
5. Nielsen J. Usability Engineering. Academic Press, 1994. 362 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780125184069/usability-engineering>
6. Chodorow K. MongoDB: The Definitive Guide. 3rd ed. O'Reilly Media, 2019. 514 p. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/mongodb-the-definitive/9781491954454/>
7. Wieruch R. The Road to React: Your Journey to Master Plain Yet Pragmatic React. Leanpub, 2022. 394 p. URL: <https://leanpub.com/the-road-to-learn-react>
8. Cantelon M., Harter M., Holowaychuk T. J., Rajlich N. Node.js in Action. 2nd ed. Manning Publications, 2017. 392 p. URL: <https://www.manning.com/books/node-js-in-action-second-edition>

УДК 004.43

Самофал Ельвіра

Студентка групи КН-24-1

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Саченко Ілля

к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, <https://orcid.org/0000-0002-3716-0249>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

Анотація: У роботі розглянуто підхід до моделювання елементів об'єктів будівництва із застосуванням об'єктно-орієнтованого програмування. Запропоновано представляти будівельний об'єкт у вигляді сукупності взаємопов'язаних класів, що описують конструктивні та інженерні елементи. Показано, що використання принципів інкапсуляції, наслідування та поліморфізму дозволяє підвищити гнучкість і масштабованість моделей. Результатом є формалізована структура об'єкта, придатна для подальшого аналізу та автоматизації процесів проектування.

Ключові слова: об'єктно-орієнтоване програмування; моделювання; будівництво; класи; ВІМ; інкапсуляція.

Вступ

У сучасних умовах цифрової трансформації будівельної галузі особливого значення набуває впровадження інформаційних технологій, спрямованих на підвищення ефективності проектування, аналізу та експлуатації будівель і споруд. Зростання складності об'єктів будівництва, необхідність урахування великої кількості конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрів, а також взаємозв'язків між ними обумовлюють потребу у застосуванні формалізованих підходів до їх моделювання.

Традиційні методи опису будівельних об'єктів, які базуються на процедурному або табличному представленні даних, мають низку обмежень, зокрема недостатню гнучкість, складність модифікації та обмежені можливості повторного використання моделей. Це ускладнює адаптацію моделей до змін у процесі життєвого циклу об'єкта, включаючи проектування, будівництво, реконструкцію та експлуатацію.

У цьому контексті перспективним є застосування об'єктно-орієнтованого підходу, який дозволяє представляти складні системи у вигляді сукупності взаємопов'язаних об'єктів із чітко визначеними властивостями та поведінкою. [1].

Мета

Метою даної роботи є формування узагальненого підходу до моделювання елементів об'єктів будівництва на основі принципів об'єктно-орієнтованого програмування, а також дослідження можливостей його застосування для формалізації структури будівельних систем, опису взаємозв'язків між їх складовими та підвищення ефективності

процесів цифрового проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості представлення будівельних об'єктів як складних систем;
- сформувати формалізовану модель елементів об'єкта будівництва;
- визначити роль основних принципів об'єктно-орієнтованого підходу у моделюванні;
- обґрунтувати доцільність застосування ООП у сучасних ВІМ-технологіях.

Виклад основного матеріалу

Будівельний об'єкт доцільно розглядати як складну багаторівневу систему, що складається з великої кількості взаємопов'язаних елементів, серед яких виділяють несучі конструкції, огорожувальні елементи, інженерні системи, а також допоміжні компоненти. Кожен з цих елементів характеризується власними параметрами, функціональним призначенням та взаємодією з іншими складовими системи. Додатково варто зазначити, що об'єктно-орієнтований підхід у будівництві тісно пов'язаний із концепцією життєвого циклу об'єкта, яка активно використовується в сучасних інформаційних системах.

У межах об'єктно-орієнтованого підходу такі елементи представляються у вигляді окремих об'єктів, що належать до відповідних класів. Це дозволяє формалізувати їх структуру та забезпечити уніфікований підхід до опису. [2].

Формально модель будівельного об'єкта може бути представлена як множина:

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}, \quad (1)$$

де o_i — окремий елемент будівельного об'єкта, що характеризується набором параметрів та функцій.

Кожен об'єкт описується множиною властивостей:

$$o_i = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}, \quad (2)$$

де p_j — характеристики елемента, які можуть включати геометричні параметри, фізико-механічні властивості матеріалів, експлуатаційні показники.

Взаємодія між елементами визначається системою зв'язків:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}, \quad (3)$$

де r_k — відношення між об'єктами, що описують передачу навантажень, геометричні залежності, функціональні зв'язки.

Узагальнена модель об'єкта може бути представлена у вигляді:

$$M = (O, R, R), \quad (4)$$

що дозволяє одночасно описати елементи системи, їх властивості та взаємозв'язки.

У рамках об'єктно-орієнтованого підходу кожен клас включає:

- атрибути, які визначають стан об'єкта;
- методи, що описують його поведінку та взаємодію з іншими об'єктами.

Застосування принципу інкапсуляції дозволяє приховати внутрішню реалізацію об'єкта та обмежити доступ до його даних, що підвищує надійність моделі.

Наслідування забезпечує створення ієрархічної структури класів, що дозволяє повторно використовувати вже визначені властивості та методи. Наприклад, базовий клас «Конструктивний елемент» може бути розширений у класах «Стіна», «Колона», «Балка».

Поліморфізм дозволяє використовувати єдиний інтерфейс для різних типів об'єктів, що спрощує реалізацію алгоритмів обробки даних та взаємодії між елементами.



Рисунок 1 – Застосування об'єктно-орієнтованого підходу для моделювання елементів об'єктів будівництва

особливо ефективним у системах BIM, де кожен елемент будівлі представлений як інформаційний об'єкт із повним набором характеристик. Це дозволяє інтегрувати дані про об'єкт на всіх етапах його життєвого циклу. [3].

Важливим аспектом є використання ієрархічних моделей, у яких будівельний об'єкт декомонується на підсистеми:

- рівень будівлі;
- рівень конструкцій;
- рівень елементів;
- рівень матеріалів.

Кожен рівень відповідає певному класу об'єктів, що дозволяє ефективно реалізувати принцип наслідування та забезпечити узгодженість моделі.

Використання ООП у моделюванні будівельних систем забезпечує:

- підвищення структурованості моделей;
- можливість масштабування;
- зручність модифікації;
- повторне використання компонентів;
- інтеграцію з сучасними цифровими платформами.

Висновок

Застосування об'єктно-орієнтованого підходу дозволяє забезпечити ефективне моделювання елементів об'єктів будівництва шляхом їх формалізованого представлення у вигляді взаємопов'язаних класів. Запропонована модель дає можливість описати як окремі елементи, так і їх взаємодію в межах єдиної системи.

Використання принципів інкапсуляції, наслідування та поліморфізму сприяє підвищенню гнучкості, масштабованості та адаптивності моделей. Це створює передумови для широкого застосування об'єктно-орієнтованого підходу у сучасних інформаційних системах будівництва, зокрема в BIM-технологіях. [4].

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення процесів цифрового проектування, аналізу будівельних конструкцій та підтримки прийняття інженерних рішень.

Список інформаційних джерел

1. Асоціація «Інформаційні технології в будівництві». BIM в Україні. URL: <https://globalbim.org/info-collection/the-association-information-modeling-technologies-in-construction-website/>
2. Плоский В.О. Інформаційні технології в будівництві : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2021.
3. Autodesk. Building Information Modeling (BIM). URL: <https://www.autodesk.com/solutions/bim>

УДК 004.8

Сусідко Владислав

Magіstr, orcid.org/0009-0002-8652-8393

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Долгополов Сергій

аспірант, асистент кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-9418-0943

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АРХІТЕКТУРА СЕРВЕРНОЇ ЧАСТИНИ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Анотація: У роботі розглядається розробка та розгортання серверної частини системи оцінки психологічного стану. Запропоновано модель інтеграції архітектурних патернів (Onion та Vertical Slice) із сучасним фреймворком спостережуваності (OpenTelemetry) для забезпечення високої надійності, масштабованості та безперервності діагностики. Таке поєднання дозволяє ізолювати бізнес-логіку від інфраструктурних змін та реалізувати наскрізне трасування запитів, збір метрик і логування в реальному часі.

Ключові слова: хмарні технології, діагностична система, CI/CD, мікросервіси, телеметрія..

Вступ

В умовах повномасштабного вторгнення в Україні критично зросла потреба у доступній та надійній психологічній допомозі. Існуючі цифрові платформи часто фокусуються на користувацькому інтерфейсі [1-5], залишаючи серверну інфраструктуру "чорним ящиком". У контексті психологічної діагностики технічні збої або мікрозатримки (latency) сервера здатні підвищити рівень тривожності користувача та спотворити результати тестування [6, 7]. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення високої доступності та відмовостійкості сервісів цифрової діагностики за умов динамічного навантаження.

Мета

Метою роботи є розробка та розгортання архітектурних рішень серверної частини діагностичної системи із впровадженням інструментів спостережуваності (observability), що дозволить підвищити продуктивність комплексного аналізу даних та забезпечити стабільність оцінювання психологічного стану.

Виклад основного матеріалу

Для забезпечення високої продуктивності та незалежності бізнес-логіки від інфраструктури, систему побудовано на базі платформи .NET (C#) з використанням комбінованого архітектурного підходу [4]. Базою виступає Onion Architecture (Рис.1), яка гарантує, що ядро системи (алгоритми скорингу тестів) ізольоване від баз даних та зовнішніх API. Для оптимізації розробки додатково застосовано Vertical Slice Architecture, що дозволяє групувати код за бізнес-функціями, роблячи кожен

модуль автономним. Замість традиційного реактивного моніторингу реалізовано проактивну модель на базі стандарту OpenTelemetry, що об'єднує три типи даних: логи (дискретні записи подій для аудиту), метрики (агреговані дані про стан системи) та трейси (відстеження шляху запиту через усі шари архітектури) [2]. Перехід до виробничого середовища (Production) реалізовано за допомогою хмарних DevOps-практик. Додаток контейнеризовано (Docker) та розгорнуто в Microsoft Azure (Azure Kubernetes Service - AKS). Інфраструктуру описано як код (IaC) за допомогою Terraform, а безперервну інтеграцію налаштовано через GitHub Actions.

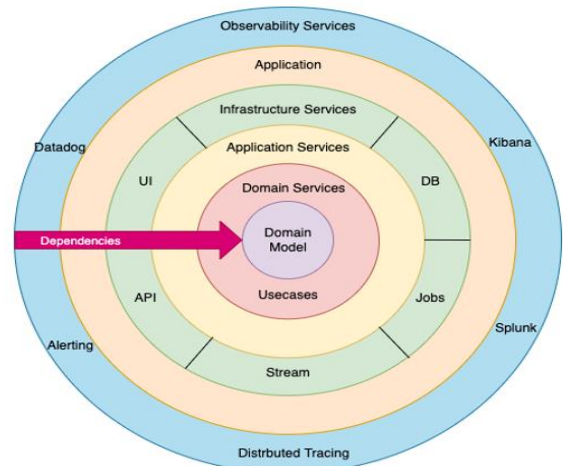


Рисунок 1 – Багаторівнева архітектура серверної частини (Onion Architecture)

Розроблена серверна аплікація пройшла комплексне навантажувальне тестування. Аналіз телеметричних даних на платформі Grafana Cloud (Рис.2) підтвердив високу ефективність запропонованого рішення.

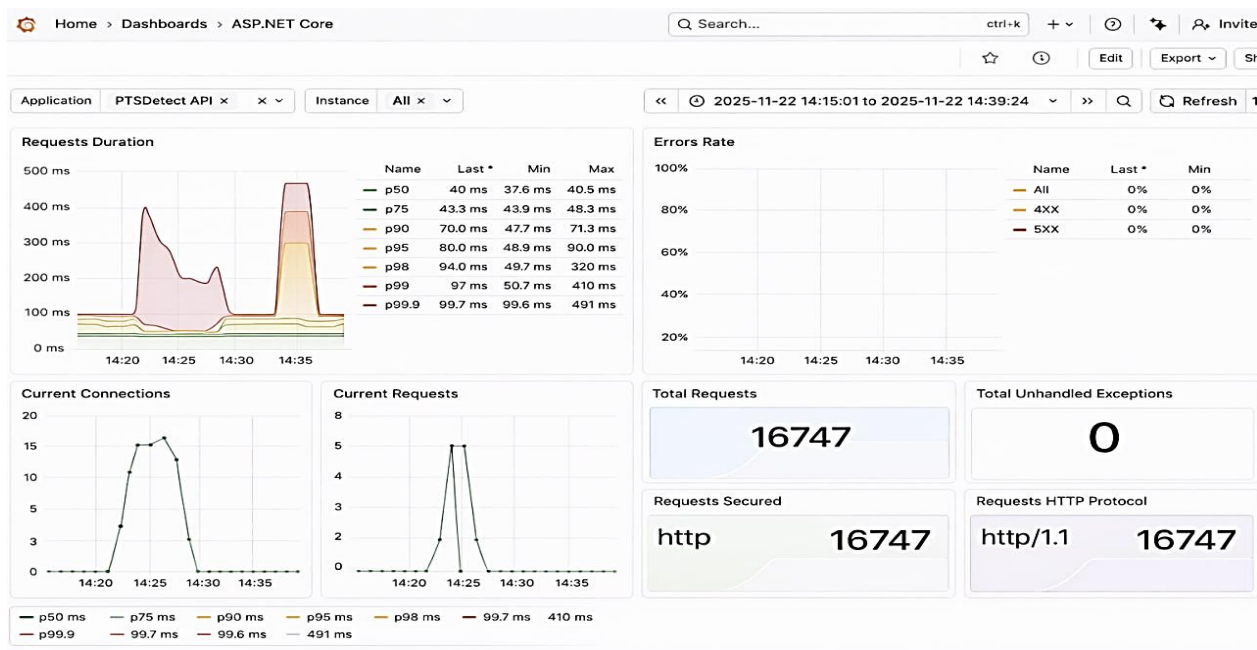


Рисунок 2 - Dashboards моніторингу продуктивності

Зокрема, аналіз метрик під час навантажувального тестування (k6) продемонстрував виняткову стабільність: рівень помилок склав 0%, а медіанний час відгуку (p50) зафіксовано на рівні 40 мс. Такий показник гарантує відсутність дискомфорту для користувачів під час проходження психологічних тестів.

Механізм розподіленого трасування (Distributed tracing) дозволив виявити зовнішні "вузькі місця": було встановлено, що 86% затримки в окремих операціях припадає на виклики зовнішнього сервісу поштової розсилки (SendGrid), що дозволило вчасно оптимізувати процес реєстрації. Аналіз логів забезпечив можливість миттєвої ідентифікації та вирішення критичних помилок.

Висновок

У роботі запропоновано архітектуру серверної частини діагностичної системи оцінки психологічного стану користувачів, яка зумовлена необхідністю забезпечення високої доступності та відмовостійкості сервісів цифрової діагностики за умов динамічного навантаження. Науковою новизною є розроблена модель інтеграції архітектурних патернів (Onion та Vertical Slice Architecture) із сучасним фреймворком спостережуваності (OpenTelemetry) для забезпечення високої надійності, масштабованості та безперервності діагностичного процесу. Таке поєднання дозволяє ізолювати бізнес-логіку від інфраструктурних змін та реалізувати наскрізне трасування запитів, збір метрик і логування в реальному часі. Практична цінність результатів полягає у мінімізації часу виявлення збоїв (MTTD) та оптимізації продуктивності обробки комплексних

діагностичних даних.

Список літератури

1. Majors C., Fong-Jones L., Miranda G. Observability Engineering: Achieving Production Excellence. O'Reilly Media, 2022. 350 p.
2. Ramaswamy Y. et al. Observability in Microservices: Metrics, Traces, and Logs for DevOps-Driven Quality Assurance. *Journal of Computational Analysis and Applications*. 2024. Vol. 33, No. 8. P. 4918-4922. DOI: <https://doi.org/10.48047/jocaaa.2024.33.08.150>
3. Tam C. C. et al. Enhancing mental health with Artificial Intelligence: Current trends and future prospects. *Journal of Medicine Surgery and Public Health*. 2024. Vol. 3.P.100099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100099>
4. Dolhopolov S. et al. Information system of multi-stage analysis of the building of object models on a construction site. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254, No. 1. P. 012075. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012075>
5. Haque M. D. R., Rubya S. An Overview of Chatbot-Based Mobile Mental Health Apps: Insights From App Description and User Reviews. JMIR mHealth and uHealth. 2023. Vol. 11. e44838. DOI: <https://doi.org/10.2196/44838>
6. OECD. Using digital technologies to improve mental health outcomes. 2023. URL: <https://www.oecd.org/health/digital-technologies-mental-health.htm>
7. Marvis O., Babatunde O., Osasu E. V. Exploring Tracing in Microservice Applications: Leveraging Zipkin for Enhanced Observability. International Journal of Research and Scientific Innovation. 2024. Vol. 11, No. 11. DOI: <https://doi.org/10.51244/IJRSL.2024.11110030>

УДК 004.8

Позднякович СергійMagistr, orcid.org/0009-0006-7765-8339

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Хаддад Антонроботодавець, orcid.org/0000-0002-8077-0042

м. Київ

ГІБРИДНА АРХІТЕКТУРА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА САМОВІДНОВЛЕННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В УМОВАХ ЗМАГАЛЬНИХ АТАК

Анотація: У роботі запропоновано підхід, який інтегрує процеси автоматизованого аудиту вразливостей, фільтрації штучних завад та апаратного посилення для реалізації механізмів самовідновлення моделей глибокого навчання. Результатом є комплексна оцінка вразливостей (FGSM, PGD) та підтвердження ефективності просторової фільтрації і змагального донавчання для відновлення цілісності моделі..

Ключові слова: машинне навчання, комп'ютерний зір, змагальна атака, швидкий знак градієнта, класифікація, стійкість нейромереж.

Вступ

В умовах стрімкої інтеграції штучного інтелекту (ШІ) та комп'ютерного зору у критичні сектори, такі як автономний транспорт та охорона здоров'я, актуальним є перехід від моделей, орієнтованих суто на точність, до архітектур із підвищеним рівнем безпеки. Головним викликом у цій сфері є «змагальна атака» (adversarial attack) — процес внесення непомітних збурень у вхідні дані, що змушує модель машинного навчання хибно класифікувати інформацію [1]. Нещодавні дослідження детально вивчають змагальну стійкість, підкреслюючи, що навіть потужні моделі, такі як ResNet-18, мають фатальні вразливості [2,5]. Однак багато сучасних рішень залишаються фрагментованими, зосереджуючись або виключно на генерації атак, або на захисті без комплексної візуалізації. Особливої актуальності ця проблема набуває через зростання кількості практичних сценаріїв застосування ШІ [6], де навіть незначна помилка класифікації може призвести до серйозних фінансових, технічних або безпекових наслідків.

Мета

Метою роботи є проектування гібридної архітектури для систем комп'ютерного зору, яка забезпечує операційну стійкість та самовідновлення моделей глибокого навчання шляхом алгоритмічного відокремлення змагального шуму від корисного сигналу на етапі передобробки даних та динамічного корегування параметрів системи під час змагального аудиту.

Виклад основного матеріалу

Запропонований підхід ґрунтується на поданні процесу аудиту безпеки як поєднання трьох складових: аналізу змагальних збурень, оцінки ефективності захисту та верифікації надійності. В якості базової архітектури використано нейронну мережу ResNet-18 у середовищі PyTorch [3].

Перший етап дослідження зосереджений на генерації векторів атак. Основний акцент зроблено на методах Fast Gradient Sign Method (FGSM) та Projected Gradient Descent (PGD).

PGD досліджується як ітеративний підхід, що застосовує кілька дрібних кроків для пошуку оптимального збурення в межах обмеження є [7].

На другому етапі здійснюється систематизація механізмів захисту. На відміну від суто алгоритмічних аналогів, розроблена архітектура реалізує дворівневу концепцію захисту:

1)Просторова фільтрація (зокрема Gaussian Blur): метод попередньої обробки вхідних даних, спрямований на усунення високочастотного змагального шуму перед етапом логічного висновку (inference) моделі.

2)Змагальне навчання (Adversarial Training): проактивний метод підвищення робастності, що передбачає донавчання нейромережі на модифікованих змагальних прикладах [4].

Запропонований конвеєр обробки даних та оцінювання стійкості нейромережі представлено у вигляді узагальненої структурної схеми (рис. 1).

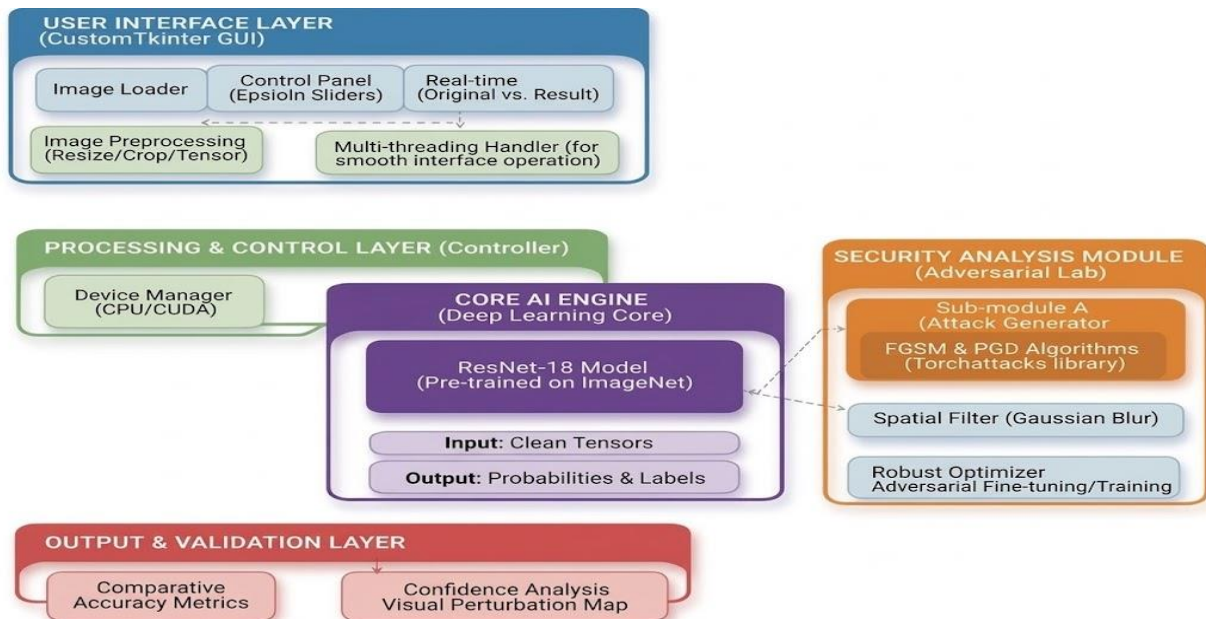


Рисунок 1 – Гібридна архітектура забезпечення стійкості та самовідновлення систем комп'ютерного зору в умовах змагальних атак

Наведена схема на рис. 1 відображає послідовність операцій під час аудиту: оригінальні вхідні дані спочатку проходять етап цілеспрямованої генерації збурень через модулі атак (FGSM або PGD). Далі система фіксує падіння впевненості базової моделі ResNet-18 (відбувається хибна класифікація). Після цього паралельно або послідовно активуються модулі захисту — препроцесинг (просторова фільтрація) та проактивний захист (ініціалізація змагального донавчання). Результати їх роботи формують підсумкову порівняльну оцінку надійності. Такий модульний пайплайн дозволяє автоматизувати процес тестування та наочно оцінити компроміс між базовою точністю класифікації та загальною безпекою моделі.

Програмний прототип реалізовано мовою Python. Архітектура оптимізована для апаратного прискорення GPU/CUDA, що забезпечує швидку обробку матриць ознак. Аналіз зібраних експериментальних даних підтвердив ефективність запропонованого рішення. Тестування показало, що атаки (FGSM і PGD) здатні ефективно руйнувати цілісність моделі, знижуючи впевненість класифікації з 92% до 14% при значенні $\epsilon = 0.05$. Водночас, впровадження просторової фільтрації дозволило ідентифікувати патерни шуму, відновивши правильну класифікацію у 76% сценаріїв. Змагальне донавчання виявилось критично важливим для відновлення моделі, значно підвищивши її опірність до повторних атак.

Висновок

Застосування запропонованого фреймворку дає змогу підвищити оперативність попереднього оцінювання безпеки систем комп'ютерного зору. Практична реалізація розробленої архітектури

забезпечує автоматизоване оцінювання вразливостей, ефективну діагностику загроз шляхом ізоляції змагального шуму від процесу формування основного логічного висновку (inference), а також операційну стійкість системи штучного інтелекту завдяки впровадженню механізмів архітектурного самовідновлення моделей глибокого навчання.

Список літератури

1. Goodfellow I. J., Shlens J., Szegedy C. Explaining and Harnessing Adversarial Examples. ICLR. 2015. URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6572>
2. Costa J. C. et al. How Deep Learning Sees the World: A Survey on Adversarial Attacks & Defenses. IEEE Access, vol. 12. 2024. P. 61113-61136. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3392742
3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. Proceedings of the IEEE CVPR. 2016. P. 770-778.
4. Madry A., Makelov A., Schmidt L., Tsipras D., Vladu A. Towards Deep Learning Models Resistant to Adversarial Attacks. ICLR. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1706.06083>
5. Thakur N. et al. AFD: Defending Convolutional Neural Networks Without Using Adversarial Samples. IEEE Access. 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3385121
6. Szegedy C. et al. Intriguing properties of neural networks. arXiv preprint. 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1312.6199>
7. Carlini N., Wagner D. Towards Evaluating the Robustness of Neural Networks. IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). 2017. P. 39-57.

Голенков Володимир

старший викладач кафедри ІТ, orcid.org/0000-0001-9882-8065

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРУЖНИХ ЛАНОК БАГАТОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА

Анотація: У роботі досліджені питання, пов'язані із впливом пружних характеристик ведучої та веденої ланок багатоланкового маніпулятора, змодельованих у вигляді вертикально висячих стрижнів, з'єднаних між собою шарніром, на їхню динаміку. Одержано систему диференціальних рівнянь впливу прогинів стрижнів на їхні кінематичні та динамічні характеристики.

Ключові слова: маніпулятор, пружні ланки, пружні характеристики, стрижні, шарніри.

Вступ

На прикладі багатоланкового маніпулятора викладена методика чисельного моделювання динаміки пружного маніпулятора, який керується зовнішніми моментами. Методика основана на застосуванні неявної схеми метода Хуболта інтегрування за часом та чисельної побудови матриці фундаментальних розв'язків при інтегруванні рівнянь руху за просторовою координатою. Відмінність прийнятого підходу полягає в тому, що на кожному кроці інтегрування за часом відшукування значення узагальнених координат включаються в кількість варійованих змінних, які визначаються за допомогою фундаментальної матриці. Така методика може бути розповсюджена на випадок пружного маніпулятора з будь-якою кількістю ланок, зокрема, одно- та дволанкового маніпулятора. На її основі можна дослідити пружні коливання ланок маніпулятора, визначити виникаючі в них внутрішні сили та моменти, а також вивчати вплив цих коливань на загальну програму керованого руху робота.

напрямком дотичної, побудованої до вісьової лінії пружного стрижня на його початку.

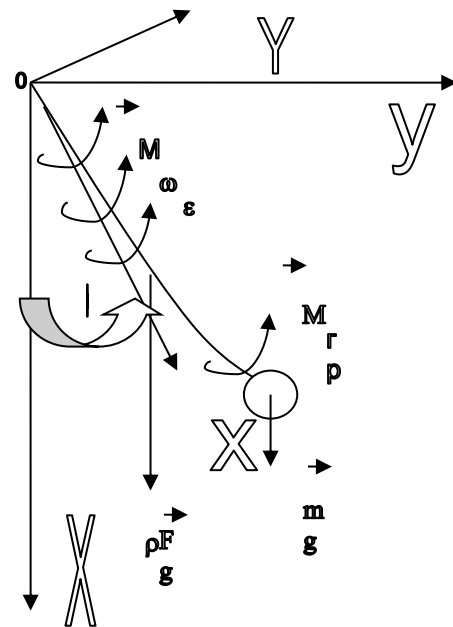


Рисунок 1 – Графічна модель пружного
одноланкового маніпулятора

Мета

Метою роботи є дослідження динаміки ведучої та веденої ланок багатоланкового маніпулятора з урахуванням їхніх пружних податливостей.

Виклад основного матеріалу

Дослідження проводилось методом комп'ютерного моделювання. Для цього обрано інерційну систему координат OXY , початок якої визначимо в точці підвісу ланки (рис.1). Введемо рухому систему координат Oxy , вісь Ox якої збігається з напрямком вісьової лінії пружного стрижня в недеформованому стані. Приймемо, що при обертанні ланки навколо точки O під дією керуючих сил та моментів і пружних коливаннях його елементів вісь Ox завжди збігається з

Прийmemo, що в точці O до ланки прикладено керуючий момент $M_0 = M_0(t)$, і під час руху ланки під дією цього моменту система координат Oxy обертається з кутовою швидкістю ω та прискоренням ε . До кінця ланки ($x = l$) приєднано вантаж масою m . В поточному положенні кут повороту цієї системи позначимо φ . Тоді рівняння динамічної рівноваги стрижня можна представити у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} EF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho F a_x + q_x &= 0 \\ EJ \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho F a_y - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial v}{\partial x} T(x) \right] - q_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тут u, v – компоненти вектора пружного зміщення стрижня вздовж осей Ox, Oy відповідно; F – площа перерізу стержня, m^2 ; J – його момент інерції, m^4 ; ρ – щільність матеріалу стрижня, kg/m^3 ; E – його модуль пружності, Pa ; a_x, a_y – відповідні компоненти вектора абсолютного прискорення, m/s^2 ; q_x, q_y – компоненти вектора інтенсивності сил гравітації; $T(x)$ – внутрішня провздожна сила в стрижні, N .

Інтегруючи після перетворень систему диференціальних рівнянь (1), можна дослідити динамічну поведінку стрижня на потрібному інтервалі часу.

Аналогічним чином досліджується динамічна поведінка багатоланкового маніпулятора.

Для постановки задачі про рух пружних ланок маніпулятора оберемо інерційну систему координат OXY , початок якої визначимо в точці підвісу ведучої ланки. Введемо рухомі системи координат $O_1x_1y_1$ (її початок також розташуємо у точці підвісу, а отже, точка O_1 збігається з точкою підвісу системи O) та $O_2x_2y_2$. Вісь O_1x_1 збігається з напрямком осьової лінії ведучого (першого) стрижня, а вісь O_2x_2 – з напрямком осьової лінії другого стрижня. Початок координат системи $O_2x_2y_2$ помістимо в шарнірі O_2 , який з'єднує дві ланки. Прийmemo, що при обертанні ведучої ланки навколо точки O під дією керуючих моментів, пружних коливаннях його елементів, а також при обертанні веденої ланки навколо точки з'єднання ланок осі O_1x_1 та O_2x_2 завжди збігаються з напрямком дотичних, побудованих до осевих ліній пружних стрижнів у їхніх початках.

Прийmemo, що в точці O до ланки 1 прикладений керуючий момент $M_1 = M_{01}(1 - \cos kt)$, а в шарнірі O_2 до ланки 2 – керуючий момент $M_2 = M_{02}(1 - \cos kt)$, де k – циклічна частота обертання, і під час руху ланок під дією цих моментів система координат $O_1x_1y_1$ обертається з кутовою швидкістю ω_1 та

прискоренням ε_1 , а система координат $O_2x_2y_2$ – з кутовою швидкістю ω_2 та прискоренням ε_2 . В поточному положенні кут повороту першої ланки позначимо φ_1 , а другої φ_2 . Тоді рівняння динамічної рівноваги системи можна представити у наступному вигляді, схожому з [1]:

$$\begin{aligned} EF_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} - \rho F_1 a_{x1} + q_{x1} &= 0, \\ -EJ_1 \frac{\partial^4 V_1}{\partial x_1^4} - \rho F_1 a_{y1} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\frac{\partial V_1}{\partial x_1} T_1(x_1) \right] + \\ + q_{y1} &= 0, \\ EF_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} - \rho F_2 a_{x2} + q_{x2} &= 0, \\ -EJ_2 \frac{\partial^4 V_2}{\partial x_2^4} - \rho F_2 a_{y2} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\frac{\partial V_2}{\partial x_2} T_2(x_2) \right] + \\ + q_{y2} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

Висновки

На прикладі ведучої ланки багатоланкового маніпулятора викладена методика дослідження та комп'ютерне моделювання динамічної поведінки пружного маніпулятора, який керується зовнішніми моментами.

Список літератури

1.В. Г. Голенков. Комп'ютерне моделювання динамічних характеристик пружних ланок одноланкового маніпулятора з вантажем на кінці. Світ наукових досліджень. Випуск 27: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна, м. Ополь, Польща, 22-23.02.2024). С.247 <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/5339/>

2.Голенков В. Комп'ютерне моделювання динамічних характеристик пружних ланок одно- та дволанкового маніпулятора з вантажем на кінці. XII Міжнародна науково-практична конференція «Scientific Theories and Practices as an Engine of Modern Development» (м. Братислава, Словаччина, 28.02-01.03.2024). С.276

УДК 004.42:004.89:528.9

Десненко Анна

здобувачка вищої освіти кафедри ІТ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Федишин Богдан

PhD, асистент кафедри БМ, orcid.org/0000-0003-2420-7332

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОБІЛЬНОЇ ТУРИСТИЧНОЇ НАВІГАЦІЇ НА БАЗІ ANDROID ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ GPS ТА СЕРВІСІВ GOOGLE MAPS

Анотація: У роботі розглянуто особливості розробки мобільних навігаційних застосунків на платформі Android із використанням технологій GPS-позиціонування та сервісів Google Maps. Запропоновано інформаційну технологію створення мобільного туристичного додатку, що забезпечує визначення поточного місцезнаходження користувача, пошук туристичних об'єктів, побудову маршрутів та надання довідкової інформації про об'єкти інтересу. Реалізовано програмний застосунок «Bila Tserkva Guide», орієнтований на туристичну навігацію в межах міста Біла Церква. Проведене тестування підтвердило працездатність запропонованого рішення та доцільність його використання для підтримки туристичної діяльності.

Ключові слова: *Android, GPS-навігація, мобільний додаток, Google Maps, геолокація, туристичний маршрут.*

Вступ

Стрімкий розвиток мобільних технологій та широке поширення смартфонів створюють передумови для активного впровадження інформаційних систем навігаційної підтримки користувачів [1]. Особливого значення набувають мобільні додатки, що поєднують можливості супутникового позиціонування, цифрових карт та довідкових сервісів для забезпечення комфортного пересування у незнайомому середовищі.

Однією з актуальних сфер застосування таких технологій є туристична навігація, де користувачі потребують швидкого доступу до інформації про визначні пам'ятки, маршрути пересування та місця відпочинку [2]. Використання сучасних мобільних платформ дозволяє інтегрувати ці функції в єдине програмне середовище.

Мета

Метою роботи є розроблення інформаційної технології створення мобільного навігаційного додатку на платформі Android для забезпечення туристичної підтримки користувачів на основі технологій геопозиціонування та цифрових картографічних сервісів.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- проаналізовано сучасні засоби розробки мобільних застосунків Android;
- досліджено принципи роботи GPS та супутникових навігаційних систем;
- виконано аналіз існуючих навігаційних рішень;
- розроблено архітектуру мобільного додатку;

- реалізовано програмний продукт із використанням сервісів Google Maps та Google Places;
- проведено тестування функціональних можливостей системи..

Виклад основного матеріалу

Платформа Android залишається однією з найпоширеніших мобільних операційних систем у світі завдяки відкритій архітектурі, великій кількості доступних інструментів розробки та широкому спектру підтримуваних пристроїв [3]. Для створення програмного продукту було використано інтегроване середовище розробки Android Studio, яке забезпечує повний цикл проєктування, програмування та тестування мобільних застосунків [4].

Однією з ключових переваг платформи Android є її відкритість та можливість інтеграції із зовнішніми програмними сервісами. Завдяки широкому набору бібліотек і програмних інтерфейсів розробник має можливість реалізовувати функції навігації, картографування, геолокації та обробки даних у режимі реального часу. Крім того, Android підтримує роботу на великій кількості мобільних пристроїв різних виробників, що забезпечує масштабованість програмного рішення та його доступність для широкого кола користувачів.

Архітектура розробленого програмного застосунку складається з декількох функціональних модулів: модуля визначення координат користувача, модуля роботи з картографічними сервісами, інформаційного модуля туристичних об'єктів та модуля побудови маршрутів. Взаємодія між зазначеними компонентами забезпечує оперативне

отримання інформації про поточне місцезнаходження користувача та відображення необхідних туристичних об'єктів на інтерактивній карті.

Функціонування навігаційного додатку базується на використанні технології GPS, яка забезпечує визначення координат користувача на основі супутникових сигналів [5]. Для визначення географічного положення необхідне одночасне отримання сигналів щонайменше від трьох супутників, а для визначення висоти над рівнем моря – від чотирьох.

Запропонована інформаційна технологія включає такі етапи:

- 1.Отримання координат користувача за допомогою GPS-приймача мобільного пристрою.
- 2.Передача координат до програмного модуля обробки.
- 3.Відображення поточного місцезнаходження на цифровій карті.
- 4.Пошук туристичних об'єктів у базі даних.
- 5.Формування маршруту до вибраної локації.
- 6.Відображення додаткової довідкової інформації про об'єкт.



Рис. 1. Узагальнена схема функціонування інформаційної технології мобільної туристичної навігації

Як показано на рис. 1, основою функціонування системи є взаємодія GPS-модуля мобільного пристрою з картографічними сервісами Google Maps та Google Places, що забезпечує визначення місцезнаходження користувача, відображення туристичних об'єктів і побудову маршрутів пересування.

У межах дослідження розроблено мобільний застосунок «Bila Tserkva Guide», який призначений для ознайомлення користувачів із туристичними об'єктами міста Біла Церква. Застосунок забезпечує:

- відображення поточного місцезнаходження користувача;

- перегляд туристичних локацій на карті;
- отримання опису визначних пам'яток;
- побудову маршрутів пішки, автомобілем або велосипедом;
- доступ до інформації про погодні умови;
- отримання інформації про служби таксі.

Для реалізації картографічного функціоналу використано Google Maps API та Google Places API, що забезпечують високу точність відображення об'єктів та побудови маршрутів [6]. Тестування програмного забезпечення виконувалося в середовищі емуляції Genymotion та на реальних Android-пристроях.

Результати тестування продемонстрували коректну роботу основних функціональних модулів системи, зокрема визначення координат, відображення об'єктів на карті, побудови маршрутів та взаємодії з картографічними сервісами.

Висновок

У роботі розроблено інформаційну технологію створення мобільного навігаційного додатку для туристичної підтримки користувачів на платформі Android. Досліджено особливості функціонування GPS-навігації, сучасних мобільних платформ та картографічних сервісів.

Практичним результатом дослідження стало створення програмного застосунку «Bila Tserkva Guide», який забезпечує навігаційний супровід користувача, пошук туристичних об'єктів та побудову маршрутів. Отримані результати підтверджують ефективність використання мобільних інформаційних технологій для розвитку туристичної інфраструктури та підвищення якості інформаційного супроводу туристів.

Список літератури

1. Statista. Number of smartphone users worldwide from 2016 to 2029. URL: <https://www.statista.com>.
2. Buhalis D., Law R. Progress in information technology and tourism management: 30 years on and 20 years after the Internet. *Tourism Management*. 2008. Vol. 29(4). P. 609–623.
3. Android Developers. Android Platform Architecture. URL: <https://developer.android.com>.
4. Android Developers. Android Studio Overview. URL: <https://developer.android.com/studio>.
5. Kaplan E., Hegarty C. *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications*. 3rd ed. Artech House, 2017. 702 p.
6. Google for Developers. Google Maps Platform Documentation. URL: <https://developers.google.com/maps>.
7. Google for Developers. Places API Documentation. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/places>.

УДК 004.42:004.89:528.9

Стужук Ігор

Здобувач вищої освіти, <https://orcid.org/0009-0004-8707-3567>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Котляревський Олексій

к. е. н., доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0009-0004-1645-8064>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

АІ-КЕРОВАНЕ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТА АДАПТИВНА КРОСПЛАТФОРМНА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМ МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ

Анотація: У роботі розглянуто підхід до підвищення надійності та стійкості інформаційних систем міської мобільності шляхом інтеграції механізмів штучного інтелекту в кросплатформну архітектуру. Запропоновано адаптивну архітектурну модель, реалізовану на базі .NET MAUI, яка забезпечує функціонування мобільних і настільних застосунків на основі єдиної програмної бази. Особливістю запропонованого підходу є використання АІ-модуля виявлення аномалій для аналізу геопросторових, часових та текстових характеристик запитів користувачів. Результати експериментального дослідження підтверджують підвищення стійкості системи до некоректних або потенційно шкідливих даних та демонструють ефективність запропонованої архітектури для побудови сучасних сервісів спільних поїздки.

Ключові слова: штучний інтелект, виявлення аномалій, кросплатформні застосунки, міська мобільність, .NET MAUI, адаптивна архітектура.

Вступ

Сучасні міста характеризуються високою інтенсивністю транспортних потоків, що призводить до перевантаження дорожньої інфраструктури, збільшення часу пересування та зростання негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження систем спільного використання транспортних засобів (carpooling), які дозволяють оптимізувати використання автомобілів та зменшити транспортне навантаження.

Разом із розвитком сервісів мобільності зростають вимоги до їх надійності, безпеки та здатності працювати в умовах неповноти або некоректності вхідних даних. Значна частина існуючих рішень орієнтована переважно на забезпечення функціональності та масштабованості, тоді як питання виявлення аномалій у запитах користувачів залишаються недостатньо дослідженими. Саме тому актуальним є поєднання можливостей штучного інтелекту із сучасними підходами до побудови кросплатформних програмних систем.

Мета

Метою дослідження є розроблення адаптивної архітектури системи міської мобільності, що поєднує механізми кросплатформної розробки та інтелектуальне виявлення аномалій для підвищення надійності функціонування сервісу.

Виклад основного матеріалу

Для реалізації програмного рішення обрано фреймворк .NET Multi-platform App UI (.NET MAUI),

який забезпечує створення єдиної кодової бази для платформ Android, iOS та macOS. Використання спільної архітектури дозволяє повторно використовувати понад 95 % програмного коду, що суттєво знижує витрати на супровід та розвиток системи.

Архітектура побудована на основі шаблону Model–View–ViewModel (MVVM), який забезпечує чітке розділення інтерфейсного рівня, бізнес-логіки та моделей даних. Серверна частина реалізована як REST API на платформі ASP.NET Core, а для зберігання даних використовується СУБД SQLite.

Особливістю архітектури є реалізація двох механізмів адаптації:

адаптація інтерфейсу користувача до особливостей різних платформ;

адаптація алгоритмів пошуку маршрутів залежно від доступності геолокаційних даних.

На рис. 1 наведено узагальнену архітектуру запропонованої системи. Вхідні дані користувача надходять до модуля АІ-виявлення аномалій, який аналізує просторові, часові та текстові характеристики запиту. Залежно від результатів оцінювання система використовує стандартний геолокаційний пошук або резервний текстовий механізм, що забезпечує безперервність роботи сервісу навіть за умов деградації зовнішніх геоінформаційних служб.

У випадку відмови або некоректної роботи сервісів геопозиціонування система автоматично переходить від пошуку на основі GPS-координат до пошуку за текстовими індексами населених пунктів. Такий підхід забезпечує безперервність роботи сервісу навіть за умов деградації зовнішніх інформаційних служб.



Рисунок 1 – Архітектура AI-керованої системи міської мобільності

Для підвищення достовірності результатів пошуку до архітектури інтегровано модуль виявлення аномалій на основі штучного інтелекту. Його завданням є попередня оцінка коректності вхідних запитів перед виконанням процедури підбору поїздок.

Запропонований механізм використовує функцію оцінювання, яка враховує три основні показники:

- просторову невідповідність географічних координат;
- часові відхилення від допустимих параметрів;
- текстову невідповідність між введеними та наявними даними про місцезнаходження.

На основі інтегрального показника система визначає рівень аномальності запиту. У разі перевищення встановленого порогового значення запит класифікується як підозрілий, після чого активується альтернативна стратегія пошуку. Це дозволяє мінімізувати негативний вплив помилкових координат, технічних збоїв або навмисно спотворених даних користувачів.

Важливою перевагою підходу є те, що аномалія не розглядається як критична помилка системи. Натомість вона переводить систему в альтернативний режим функціонування, що забезпечує високий рівень стійкості до зовнішніх впливів.

Результати експериментальних досліджень

Експериментальна перевірка проводилася на платформах Android 14, iOS 17 та macOS Sonoma. Досліджувалися показники швидкодії, ефективності алгоритмів пошуку та якості роботи модуля виявлення аномалій.

Результати показали, що середній час

виконання пошуку маршрутів за GPS-координатами становив від 187 до 215 мс залежно від платформи, тоді як використання текстового пошуку забезпечувало швидший результат — від 128 до 142 мс. Це підтверджує доцільність використання резервного механізму пошуку у випадках відсутності геолокаційних даних.

Оцінювання продуктивності серверної частини показало стабільну роботу системи при навантаженні до 100 одночасних користувачів із середнім часом відповіді близько 287 мс. Отримані результати свідчать про придатність архітектури для використання в корпоративних, університетських та регіональних транспортних сервісах.

Особливу увагу приділено ефективності AI-модуля. За результатами тестування на наборі модельованих запитів було отримано такі показники:

- точність виявлення аномалій - 91 %;
- частка хибнопозитивних спрацювань - 6 %;
- частка хибнонегативних спрацювань - 3 %;
- зниження кількості помилкових ситуацій - 85 %.

Отримані результати підтверджують ефективність використання механізмів штучного інтелекту для забезпечення стійкості інформаційних систем міської мобільності.

Висновок

Запропоновано адаптивну кросплатформну архітектуру системи міської мобільності, яка поєднує сучасні засоби розробки на базі .NET MAUI та механізми штучного інтелекту для виявлення аномалій у запитах користувачів. Використання AI-модуля дозволило забезпечити автоматичне виявлення некоректних даних та реалізувати механізм переходу до альтернативних режимів роботи без втрати функціональності системи.

Результати експериментальних досліджень підтвердили високу ефективність запропонованого підходу, який забезпечує точність виявлення аномалій на рівні 91 % та зменшує кількість відмов системи на 85 %.

Список літератури

1. Shaheen S., Naoum-Sawaya J., Crisostomi E. Smart Mobility. *Frontiers in Sustainable Cities*. 2022.
2. Majchrzak T. A., Bjørn-Hansen A., Grønli T.-M. Comprehensive Analysis of Innovative Cross-Platform App Development Frameworks. *HICSS*. 2017.
3. Microsoft. .NET Multi-platform App UI Documentation. 2025.
4. Peng X. et al. Traffic Anomaly Detection in Intelligent Transport Applications with Time Series Data Using Informer. *IEEE ITSC*. 2022.
5. Patcha A., Park J. M. An Overview of Anomaly Detection Techniques. *Computer Networks*. 2007.

Olga Vitruk

Senior Lecturer, ORCID ID 0009-0006-5833-7521

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Oleksiy Varvarchuk

Student in the Department of Special-Purpose Structures

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Oleg Lysyuk

Student in the Department of Special-Purpose Structures

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

APPLICATION OF THE MDA FRAMEWORK FOR DEVELOPING AN INTELLIGENT GAMIFIED CAREER GUIDANCE SYSTEM IN HIGHER EDUCATION

Abstract. *The rapid transformation of the labor market creates new challenges for career guidance systems in higher education. Traditional career counseling approaches often rely on static assessments, provide limited personalization, and fail to maintain student engagement throughout the decision-making process. This study proposes an intelligent gamified career guidance system based on the Mechanics–Dynamics–Aesthetics (MDA) framework. The proposed approach integrates Self-Determination Theory (SDT), Holland’s RIASEC model, Social Cognitive Career Theory (SCCT), and gamification principles to improve student motivation and the quality of career recommendations. The system incorporates adaptive diagnostics, a multi-factor recommendation engine, and personalized learning trajectories. Experimental evaluation using synthetic datasets demonstrates recommendation stability and significant reduction of assessment length through adaptive testing.*

Keywords: *gamification, career guidance, MDA framework, adaptive testing, recommendation systems, higher education, RIASEC.*

Introduction

The digital transformation of society and the emergence of new professions require universities to modernize traditional career guidance approaches. Modern students increasingly expect personalized, interactive, and technology-driven educational services. At the same time, labor market uncertainty complicates professional decision-making and increases the need for effective career planning tools.

Gamification has become one of the most promising approaches for increasing user engagement in educational systems. Previous studies demonstrate that gamified environments positively influence motivation, participation, and learning outcomes [1]. However, the application of gamification in career guidance remains insufficiently explored.

This research aims to develop a conceptual model of a gamified career guidance system based on the MDA framework and evaluate the effectiveness of its adaptive recommendation mechanisms.

Theoretical Foundations

The proposed system combines several complementary theoretical approaches.

The MDA framework structures game design into three interconnected layers [2]:

- *Mechanics* – rules, algorithms, rewards, badges,

and progression systems;

- *Dynamics* – interactions emerging from user behavior;
- *Aesthetics* – emotional responses such as discovery, challenge, achievement, and self-expression.

To enhance intrinsic motivation, the system integrates Self-Determination Theory, which emphasizes three psychological needs:

- autonomy;
- competence;
- relatedness.

Career matching is based on Holland’s RIASEC model, which classifies professional interests into six categories:

- Realistic;
- Investigative;
- Artistic;
- Social;
- Enterprising;
- Conventional.

In addition, Social Cognitive Career Theory is employed to support self-efficacy development and informed career decision-making.

The integration of these theories provides a comprehensive methodological foundation for designing a motivational and pedagogically effective career

guidance environment.

System Architecture

The proposed solution consists of six functional modules:

1. User authentication and profile management.
2. Adaptive diagnostic subsystem.
3. Recommendation engine.
4. Gamification subsystem.
5. Career planning module.
6. Teacher and administrator dashboard.

The gamification subsystem includes:

- experience points (XP);
- achievement badges;
- progression levels;
- narrative quests;
- collaborative activities;
- personalized career missions.

These mechanics are designed to create engagement dynamics and support the aesthetics of discovery, achievement, and personal growth.

The adaptive diagnostic module dynamically selects assessment questions according to the user's responses. Unlike traditional fixed questionnaires containing approximately 120 items, the adaptive mechanism focuses on maximizing information gain and reducing respondent burden.

Recommendation Model

The recommendation engine employs a multi-factor approach combining three independent dimensions:

Interest Matching. Professional interests are represented using Holland's RIASEC vectors. Similarity between user and profession profiles is calculated using cosine similarity.

Competency Matching. The competency component evaluates the gap between current user skills and profession requirements, allowing identification of realistic development trajectories.

Values Alignment. Personal values are compared with professional characteristics to ensure long-term satisfaction and career sustainability.

The final recommendation score is computed as a weighted combination of these three components. Such a multi-vector approach provides more robust and explainable recommendations compared with traditional single-factor matching systems.

Experimental Evaluation

Simulation experiments were conducted using a synthetic dataset containing:

- 500 user profiles;
- 50 profession profiles;
- 120 adaptive assessment items.

The experiments focused on two aspects:

Recommendation Stability. Recommendation robustness was evaluated by introducing controlled

Gaussian noise into user profiles.

The results demonstrated Tabl. The findings indicate that the proposed recommendation mechanism remains stable under realistic response variability and preserves most top recommendations.

Noise Level	Jaccard@5	Top-1 Retention
Moderate	0.76	0.77
High	0.61	0.6
Very High	0.49	0.45

Adaptive Testing Efficiency. The adaptive algorithm was compared with random question selection.

Strategy	Average Questions	RMSE
Adaptive Selection	46.4	0.083
Random Selection	57.1	0.081

The adaptive strategy achieved the required confidence level while reducing the number of questions by approximately 63% compared to a traditional 120-item assessment battery. Such reduction significantly improves user experience and decreases dropout probability.

Conclusions

This study presents an intelligent gamified career guidance system that integrates the MDA framework, Self-Determination Theory, Social Cognitive Career Theory, and Holland's RIASEC model.

The proposed architecture combines adaptive diagnostics, multi-factor recommendation mechanisms, and gamification elements to improve student engagement and support informed career decisions.

Experimental evaluation demonstrated that: recommendation quality remains stable under noisy conditions;

adaptive diagnostics substantially reduce assessment duration;

the multi-vector recommendation model provides balanced and explainable career suggestions.

Future research will focus on implementing the proposed platform in a real university environment, conducting user studies with students, and evaluating long-term educational and career outcomes

References

- 1.Sailer M., Homner L. The Gamification of Learning: A Meta-analysis. Educational Psychology Review. 2020. Vol. 32. No. 1. P. 77–112. DOI: 10.1007/s10648-019-09498-w.
- 2.Hunicke R., LeBlanc M., Zubek R. MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. In: Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI. San Jose, California, USA, 2004. P. 1–5.
- 3.Holland J. L. Making Vocational Choices: A Theory of Vocational Personalities and Work Environments. 3rd ed. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1997. 303 p.

Oksana Sirokvashina

Student in the Department of Special-Purpose Structures
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Serhii Izvekov

Student in the Department of Special-Purpose Structures
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Valeria Kovalyova

Student in the Department of Special-Purpose Structures
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

OPTIMIZATION OF SPACE-PLANNING AND STRUCTURAL SOLUTIONS FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES CONSIDERING THEIR VULNERABILITIES

Abstract. The resilience of critical infrastructure facilities has become a strategic priority due to increasing military threats, natural disasters, and technological accidents. Critical infrastructure includes energy systems, transportation hubs, water supply facilities, communication networks, and information technology centers whose disruption may cause significant social and economic consequences. This study investigates approaches to optimizing space-planning and structural solutions for critical infrastructure facilities while considering their vulnerabilities. Particular attention is paid to functional, structural, operational, and organizational vulnerabilities that affect the reliability and continuity of facility operation. The paper proposes key design optimization principles, including integrated protection, modularity and redundancy, rational zoning, and evacuation optimization. Modern engineering approaches such as Building Information Modeling (BIM), digital twins, mathematical simulation, and multi-agent evacuation modeling are considered as effective tools for improving infrastructure resilience. The results demonstrate that combining advanced structural systems, protective architectural solutions, and integrated security technologies significantly increases facility survivability and operational continuity under emergency conditions.

Keywords: *critical infrastructure, optimization design, structural solutions, space-planning solutions, resilience, security, BIM technologies, digital twins.*

Introduction

Modern societies depend on the reliable operation of critical infrastructure systems, including energy, transportation, communication, and water supply facilities. Recent military threats, climate change, and technological risks have increased the need for resilient infrastructure capable of maintaining operational continuity under adverse conditions. Therefore, optimization of structural and space-planning solutions has become a key factor in ensuring infrastructure security and sustainability.

Vulnerabilities of Critical Infrastructure Facilities

Critical infrastructure facilities are exposed to a wide range of threats and hazards. Their vulnerabilities can be classified into several major categories.

Functional vulnerabilities arise from dependence on external energy sources, communication channels, and centralized control systems. Failures in supporting systems may significantly affect operational performance.

Structural vulnerabilities are associated with insufficient resistance to dynamic loads such as explosions, seismic events, fire impacts, and vibrations. The use of outdated materials and structural systems can further increase the risk of progressive collapse.

Space-planning vulnerabilities result from irrational facility layouts, concentration of critical functions in a single area, limited evacuation routes, and inadequate separation of secure zones from public spaces.

Operational vulnerabilities are related to aging equipment, insufficient monitoring systems, and inadequate maintenance practices.

Organizational vulnerabilities include human errors, insufficient emergency planning, poor coordination among responsible agencies, and lack of preparedness training.

Considering these vulnerabilities at the design stage allows engineers and architects to develop more resilient and secure infrastructure systems.

Principles of Design Optimization

Optimization of critical infrastructure design should address multiple objectives simultaneously, including safety, reliability, cost-efficiency, sustainability, and resilience.

The first principle is the *integration of protection measures during the design phase*. Security solutions should not be treated as additional components but rather as an integral part of architectural and structural design. Such an approach minimizes the effects of blast loads, fire hazards, seismic impacts, and cyber threats.

The second principle is *modularity and redundancy*. Modular design enables the creation of autonomous functional units capable of operating independently if certain system components fail. Examples include backup server rooms, redundant power supply systems, and distributed communication networks.

The third principle is *rational zoning*. Critical components such as control centers, server rooms, and energy management systems should be located within protected zones isolated from publicly accessible areas. International practice frequently employs the concept of “security cores” positioned in central or underground facility locations.

The fourth principle is *evacuation optimization*. Effective evacuation planning minimizes evacuation time and ensures safe movement of personnel during emergency situations. Multiple evacuation routes, emergency exits, and intelligent navigation systems contribute significantly to occupant safety.

Modern Methods for Infrastructure Optimization

Modern optimization methods include mathematical modeling, BIM technologies, digital twins, multi-agent evacuation simulation, and lifecycle analysis. These tools enable early assessment of design solutions, prediction of potential risks, and improvement of infrastructure resilience throughout the facility lifecycle.

Figure 1 illustrates the proposed framework for enhancing the resilience of critical infrastructure facilities. The framework integrates five interconnected stages: identification of threats and hazards, vulnerability assessment, design optimization, application of digital technologies, and continuous operation improvement. Vulnerability assessment encompasses functional, structural, space-planning, operational, and organizational aspects, which form the basis for selecting appropriate optimization measures. Modern digital tools, including BIM technologies, digital twins, simulation models, and lifecycle analysis, support informed decision-making throughout the facility lifecycle. The implementation of these measures contributes to the development of resilient critical infrastructure capable of

maintaining safety, reliability, and operational continuity under adverse conditions.



Figure 1. Integrated Optimization Framework for Critical Infrastructure Facilities

Conclusions

The optimization of space-planning and structural solutions for critical infrastructure facilities is essential for ensuring their resilience under contemporary threats. Consideration of functional, structural, operational, and organizational vulnerabilities during the design process significantly improves facility reliability and survivability.

The combination of modular structural systems, rational zoning, advanced protective technologies, and integrated security systems provides a comprehensive framework for enhancing infrastructure resilience. Furthermore, the application of BIM technologies, digital twins, mathematical modeling, and multi-agent simulations supports data-driven decision-making throughout the facility lifecycle.

Future research should focus on the application of artificial intelligence methods for multi-criteria optimization, development of adaptive structural systems, and integration of resilience-oriented design standards into national regulatory frameworks.

References

1. Law of Ukraine “On Critical Infrastructure”. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20>
2. Sukhodolia O. M. Resilience of Critical Energy Infrastructure and Community Vitality. National Institute for Strategic Studies, Kyiv, 2024.
3. Zaplatynskiy V. M., Uriadnikova I. V. Scientific Approaches to Defining Critical Infrastructure. *News of Donetsk Mining Institute*. 2020. No. 47. P. 184–193.

Жовнір Ольга

старший викладач кафедри мовної підготовки і комунікації, ORCID 0000-0002-3959-4593

Київський національний університет будівництва і архітектури

Зеленський Вячеслав, Варварчук Олексій

Студент кафедри споруд спеціального призначення

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ГЕОМЕТРИЧНОГО ТА ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ І ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД

Анотація. Подано огляд трендів і прогалин у геометричному та чисельному моделюванні будівельних і фортифікаційних споруд. Систематизовано підходи прикладної геометрії (параметричні/варіаційні представлення, NURBS, топологічна оптимізація), будівельної механіки (моделі матеріалів, оболонки/пластини, взаємодія «споруда–грунт») і чисельних методів (MCE/MCP/MGE, експліцитна динаміка, MPM/DEM, спрощені SDOF-моделі й CFD для вибухових дій). Окреслено місце RBIM/BIM-процедур та ГІС-інтеграції для «цифрових двійників». Виділено прогалини: відсутність інтегрованих мережових постановок для фортифікацій, стандартизації нотації параметрів і відтворюваних процесів калібрування. Запропоновано напрями розвитку: робастна багатокритеріальна оптимізація, поєднання геометричної та сценарної змінності, польова валідація.

Ключові слова: прикладна геометрія; MCE; RBIM/BIM; ГІС; вибухові навантаження; живучість; фортифікації.

Вступ

«Цифрова» епоха будівництва та оборонної інженерії характеризується переходом від статичних каталогів рішень до параметричних і даних-керованих моделей. Для цивільних споруд це означає інтеграцію BIM, симуляцій та управління життєвим циклом; для фортифікацій – ще й необхідність реагувати на різноманітні загрози (артилерія/ракети/БпЛА/об'ємно-детонувальні боеприпаси) при дефіциті ресурсів і жорстких часових вікнах. Об'єднуювальним каркасом стає геометричне моделювання, яке формує простір припустимих рішень і задає змінні для чисельних перевірок.

Стан і тренди

Сучасні дослідження у сфері геометричного та чисельного моделювання будівельних і фортифікаційних споруд базуються на інтеграції параметричного проєктування, BIM-технологій, геоінформаційних систем та чисельних методів аналізу [1, 2].

На рис. 1 наведено узагальнену схему взаємодії геометричного моделювання, BIM/RBIM-технологій, геоінформаційних систем та чисельних методів аналізу. Такий підхід забезпечує комплексне оцінювання конструктивних рішень з урахуванням просторових, експлуатаційних та безпекових факторів.

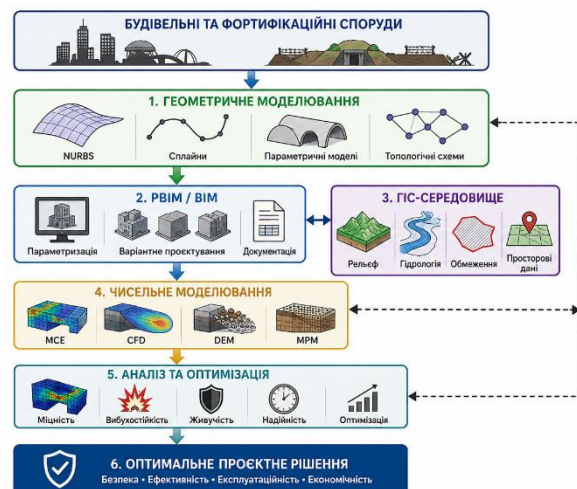


Рисунок 1 – Інтегрована схема геометричного та чисельного моделювання будівельних і фортифікаційних споруд

Будівельна механіка: моделі та верифікація

1. Матеріальні моделі. Для залізобетону й металу – пластичність, ушкодження, тріщиноутворення; для ґрунтів — Мора-Кулона, HS/HSsmall, MPM-формулювання. Класика теорії пластин і оболонок [5, 6]. залишається фундаментом для інженерних моделей.

2. Вибухові/ударні дії. Використовуються SDOF/MDOF-схеми, емпіричні бази типу ConWep, а

також повні динамічні розрахунки з ґрунтовою взаємодією [7]. Українські роботи демонструють застосування ПК-комплексів для прямих динамічних розрахунків споруд під повітряною ударною хвилею [8] та рекомендації щодо малих захисних споруд [9]. Нормативна база (ДБН V.1.2-14; ISO 2394; JCSS) задає рамки надійності й верифікації.

Чисельні методи та обчислювальні ядра

MSE – «робоча конячка» для статичних і квазістатичних задач; експліцитна MSE широко застосовується в ударній динаміці. MCP (скінченні різниці) ефективні для CFD-підзадач; MGE (boundary element) – для безмежних областей і хвильових задач.

MPM/DEM/FDM використовують для великих деформацій, обсіпання укосів, обвалів перекриттів. У фортифікаціях важлива коректна постановка контакту «оболонка–ґрунт» і параметрів ущільнення/насичення.

Питання розповсюдження ударної хвилі, поступу фронту диму/токсичних домішок і взаємодії з геометрією коридорів частково вирішують CFD-ядрами, але в інженерній практиці частіше застосовують редуковані моделі й табличні навантаження з подальшою калібруванням.

Глобальна vs локальна оптимізація. Тактичну перевагу часто визначає правильне розміщення вузлів і мережа ходів сполучення, а не тільки конструктив форми. Тому доцільно: (i) уніфікувати на рівні графів; (ii) координати нефіксованих вузлів визначати геометричним/чисельним моделюванням; (iii) форми локальних споруд використовувати як обмеження (габарити, радіуси, ухили, вентиляція/евакуація) – ДБН V.2.2-5:2023.

Метрики експлуатації. Поряд із міцнісними критеріями актуальні часові метрики (найшвидші маршрути, пропускна здатність $Q=D \cdot v \cdot w$), експозиція/маскування (узагальнені показники видимості/помітності), відмовостійкість (вузлово-незалежні шляхи).

Дані та калібрування. ГІС-шари рельєфу/заборон/гідрології задають допустимі області; швидкісні множники для ухилів/покриттів і локальні затримки мають калібруватися польовими вимірюваннями для конкретної місцевості.

Інтеграція BIM/PBIM і ГІС

Сучасні практики передбачають наскрізний процес: параметризація ↔ генерація варіантів ↔ чисельна перевірка ↔ випуск документів. В українських публікаціях засвідчено впровадження BIM у навчання й практику, а також використання ГІС для морфоаналізу рельєфу. Ключова проблема – відсутність стандартизованої нотації змінних і обмінних форматів між CAD/BIM і ГІС для фортифікацій.

Виявлені прогалини

1. Інтегрована постановка для фортифікацій: поєднання геометрії мережі, норм, геотехніки й часових метрик у єдиній оптимізаційній схемі.

2. Відтворюваність: нестача погодженої нотації параметрів, сценаріїв і процесів калібрування.

3. Робастність: обмежене застосування ймовірнісних/робастних критеріїв (ISO 2394; JCSS) у задачах швидкого проектування.

4. Польова валідація: небагато відкритих кейсів зі зміряними часовими/експлуатаційними метриками.

Інтероперабельність: розриви між ГІС-даними, PBIM-моделями та обчислювальними ядрами.

Висновки

Сучасний стан демонструє високу зрілість локальних чисельних рішень (міцність, вибухостійкість) і швидкий розвиток PBIM/ГІС-інтеграції, однак бракує інтегрованих геометрично-топологічних постановок із прозорими часовими метриками та відтворюваними процесами калібрування. Для фортифікацій доцільно переносити акцент із «бази форм» на мережеву організацію та сайтоорієнтоване моделювання з урахуванням норм і доступних ресурсів. Запропоновані напрями можуть слугувати дорожньою картою для академічних і прикладних досліджень у найближчі роки.

Список літератури

- [1] Адаменко В. О., Сорокін О. С., Руденко О. О. Досвід впровадження BIM-технологій в навчальний процес // Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2022. Вип. 11.
- [2] Skochko V. I., Ploskyi V. O. Morphogenesis and adjustment of flat rod structures. *USEFUL Online Scientific Journal*. 2018. Vol.2, No 2. P. 8–26. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-2-2018-0002>.
- [3] Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S. *Theory of Plates and Shells*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1959. 580 p.
- [4] Ventsel E., Krauthammer T. *Thin Plates and Shells: Theory, Analysis, and Applications*. New York: Marcel Dekker, 2001. 666 p.
- [5] Krauthammer T. *Modern Protective Structures*. Boca Raton: CRC Press, 2008. 528 p.
- [6] Ромашкіна М., Пісаревський Б., Журавльов О. Розрахунок будівлі на вплив дії повітряної ударної хвилі прямим динамічним методом з використанням ПК ЛІРА-САПР // Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2024. Вип. 14. С. 147–160. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.147-160>
- [7] Безуглий Я. П., Отрош Ю. А., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В. Будівництво дрібних захисних фортифікаційних споруд — залізобетонних бліндажів циліндричної форми заводського виготовлення // Вісті Донецького гірничого інституту. 2022. Т. 2, № 51. С. 7–13. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-7-13>