

Ministry of education and science of Ukraine
Pryazovskyi State Technical University
Міністерство освіти та науки України
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Book of abstracts of the VII International conference of young scientists
**«MODERN TRENDS IN INFORMATION TECHNOLOGY
DEVELOPMENT»**

Збірник тез VII Міжнародної конференції молодих учених
**«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗВИТКУ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»**

November 19, 2025 / Dnipro
19 листопада 2025 року / Дніпро

УДК 004

ISBN 978-966-604-326-2

Рекомендовано Вченою радою
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
(протокол № 4 від 27.11. 2025 р.).

Modern trends in information technology development: Book of abstracts of the VII International scientific conference of young scientists (Dnipro, November 19, 2025) / PSTU. – Dnipro: PSTU, 2025. – 266 p.

Актуальні питання розвитку інформаційних технологій: тези доповідей VII Всеукраїнської конференції молодих учених (Дніпро, 19 листопада 2025 р.)/ ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро: ПДТУ, 2025. – 266 с.

The publication presents the results of theoretical and experimental research, R&D by scientists, scholars, lecturers, PhD students, and specialists from enterprises and organizations of Ukraine and foreign countries. Materials are published in the author's editorial office.

Опубліковані результати теоретичних і експериментальних досліджень, науково-дослідні розробки вчених, науковців, викладачів, аспірантів, фахівців підприємств і організацій України та зарубіжних країн. Матеріали публікуються в авторській редакції.

Responsible for the release
Anastasiia Serhiienko, PhD, Associate Professor

Відповідальний за випуск
Сергієнко А.В., канд. техн. наук, доцент

The Organizing Committee expresses its gratitude to the conference participants for their presentations.

Оргкомітет висловлює подяку учасникам конференції за надані доповіді.

© Pryazovskyi State Technical University, 2025.

© ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», 2025

ЗМІСТ

TECHNOLOGY TRENDS [АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ]8

Богущий Д.В., Горбова О.В. Модифікація класичних метрик читабельності для підвищення точності аналізу технічної документації API	9
Воротнікова З.Є., Гілко Е.Г. Планування траєкторії руху групи мобільних роботів у невідомому середовищі	10
Воротнікова З.Є., Кожушина А.А.Еволюція архітектури корпоративних систем	13
Геря І.В., Балалаєва О.Ю. Оптимізація завантаження SPA застосунку	15
Дорогий Я.Ю., Піскун А.М., Корнєєв М.Ю., Цуркан В.В. Побудова CPSV-AP-UA – Української адаптації Core Public Service Vocabulary Application Profile	17
Єрьоменко К.А., П'ятикоп О.Є. Порівняння класичних технологій веброзробки з сучасними фреймворками на прикладі React.js	19
Жовтобрух С.А. Аналіз показників надійності інформаційно-вимірювальної системи управління виробництвом вогнетривів	22
Жовтяк Д.І. Мобільний застосунок для автоматизації B2B продажів	23
Жуковська А.О., Гострик О.М.. ERP-системи як інструмент інтеграції обліку, аудиту та управління підприємством	25
Котвицький І.В., Савицький Р.С. Типозабезпечена обробка помилок з патерном Result	28
Курочка А.С. Смарт-контракти як інструмент автоматизації голосування	31
Лубкік Б.В., Черевко О.О. Рекомендації щодо модернізації системи автоматичного керування зоною вторинного охолодження МБЛЗ	34
Малюкін О.В., Мельніков О.Ю. Модуль розрахунку кількості та потужності джерел світла в інформаційній системі розрахунку рівня освітлення	35
Nikiforova Liliia Oleksandrivna, Shyian Anatolii Antonovych Digital management features of open science data repositories based on fair principles	39
Піскун А.М., Корнєєв М.Ю., Дорогий Я.Ю. Застосування технологій ші для побудови національного інтероперабельного гідів з державних послуг	42
Садовий Я.С. Онлайн метод побудови розподілених узагальнених суфіксних дерев	44
Сергієнко А.В., Тузенко О.О., Калашніков С.Ю. Прогнозування прибутковості ринків металопродукції за допомогою економіко-математичних моделей	46
Сиворка В.А., Тарнавська І.О. Цифрова медицина	48
Товарчі І.С., Кейда С.І. Підвищення коректності та швидкості проєктування типових конструкцій ШГРП шляхом впровадження автоматизованої генерації 3D-збірок на основі формалізованих інженерних знань	50
Чайка О.Я., Гайша О. О. Особливості методик програмування сучасних дронів	52
Чапля В.В., Черевко О.О. Проєктування асу параметрами тунельної печі для випалу шамотної цегли	54
Черевко О.О., Піпиріди М.В. Побудова комп'ютерної моделі для системи автоматизованого керування освітленням теплиць	56
Шатківський В.М., Станкевич В.О. Аналіз небезпеки фальшивих USB портів для мобільних пристроїв	59
Шатківський В.М., Татуревич О.Д.. Аналіз сучасних методів забезпечення доступності та моніторингу умов у захисних спорудах	61
Щербаков С.В., Міхеєнко І.С. Проєктування автоматизованої системи управління лінією відновлення тютюну	63

Щербаков С.В., Прядко В.В. Оптимізація гранулометричного складу продукту подрібнення залізної руди за допомогою автоматизованої системи на базі комп'ютерної моделі	64
Щербаков С.В., Прядко В.В. Оптимізація гранулометричного складу продукту подрібнення залізної руди за допомогою автоматизованої системи на базі комп'ютерної моделі	65
COMPUTING [ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА]	71
Гноєвець О.А., Соколова Н.О. Дослідження методів оптимізації процесів CI/CD	72
Копійка О.С., Левицька Т.О. Прогнозування ціноутворення криптовалюти за допомогою довготривалої короткочасної пам'яті	74
Суслів В.М. Розробка та впровадження кешування даних в застосунки для мобільних пристроїв для прискорення роботи та покращення досвіду користувача	75
Чичкарьов Є.А. Дослідження ефективності паралельних обчислень при вирішенні задач лінійної алгебри та машинного навчання	77
ARTIFICIAL INTELLIGENCE [ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ]	81
Bielinskyi Andrii, Soloviev Vladimir, Matviychuk Andriy Forecasting crude oil market dynamics using ARIMA approach and complex systems measures	82
Білецький Ю.О., Кудряшова А.В. Особливості використання штучного інтелекту для прототипування мобільних застосунків	84
Бриксін В.О., О.О., Терещенко І.Ф. Напрямки оптимізації ETL-процесів за допомогою ШІ	86
Бурлаков О.О., Марченко І.Ф. Вплив реалізації алгоритмів рекомендаційних систем у C# на ключові метрики точності прогнозування поведінкових уподобань	88
Марченко І.Ф., Гусак О.І. Дослідження методів інтеграції алгоритмів машинного навчання у вебзастосунки на базі react для побудови персоналізованих рекомендаційних систем	91
Larysa Dehtiarova The impact of artificial intelligence tools on the efficiency and security of virtual learning	93
Десятнюк Л.Б., Філіпчук А.А. Штучний інтелект як фактор збереження та розвитку системи охорони здоров'я України в умовах викликів сьогодення	95
Дідківський В.В., Антонюк Д.С. Моделювання фінансової поведінки з урахуванням референс-залежної корисності із застосуванням Reinforcement Learning	97
Каштан В.Ю., Будаков Д.І., Гнатушенко М.В. Нейромережева класифікація настроїв інтернет-споживачів за текстовими відгуками про товари	99
Кейда С.І. Розвиток штучного інтелекту та його застосування на сучасному етапі в світі	102
Котелевський Д.С., Зеленьова І.Я., Голуб Т.В. Аналіз сучасних LLM для верифікації проєктів на FPGA	103
Паращенко В.А., Берест О.Б. Оптимізація словника ознак для системи підтримки прийняття рішень щодо якості кодових баз	107
Піперіди М.В., Черевко О.О. Застосування нейронних мереж в системах автоматизації тепличного господарства	112
Проніна О.І. Моделювання та інтерпретація пояснюваних моделей машинного навчання на основі номограм у середовищі Orange	113
Проніна О.І., Андрєєв І.А. Застосування методів машинного навчання для оцінювання стану атмосферного повітря в різних регіонах	116
Рудь І.В., Доренський О.П. Концептуальна модель системи інтелектуального аналізу даних для управління звичками людини	118
Сергєєв В.І., П'ятаченко В.Ю. Дослідження значущості ознак у задачі виявлення аномалій GPS-сигналів із використанням XGBoost	120

Сергієнко А.В., Браткевич В.П. Використання методів машинного навчання для оптимізації харчових ресурсів домогосподарств та мінімізації Food Waste.....	123
Сергієнко А.В., Волобуєв Є.С. Використання еволюційних алгоритмів у задачах проєктування фізичних об'єктів.....	124
Сергієнко А.В., Стеців Я.В. Дослідження методів оптимізації продуктивності та швидкості відгуку інтелектуальних програмних систем на прикладі програмного помічника з графічним інтерфейсом	126
Сергіх Я.В., Соколова Н.О. Розробка ігрового застосунку з використанням штучного інтелекту на ігровому рушії Unreal Engine 4	129
Сімкова А.С., Гоменюк В.А. Використання технологій штучного інтелекту в освітньому процесі: аналітика даних, інтелектуальні агенти та перспективи розвитку	131
Солдатоа Д.В., Черевко О.О. Проєктування нечіткого регулятора для системи інтелектуального управління опаленням будівлі	134
Тахтай Н.В., Левадний Я.В., П'ятаченко В.Ю. Комбіновані моделі виявлення GPS-spoofing-атак на основі фізичних і поведінкових ознак сигналу	138
Юрчук Н.П., Кириченко К.Д. Архітектура великих мовних моделей (LLM) та їх застосування для автоматизації бізнес-процесів	141
MACHINE VISION [МАШИННИЙ ЗІР].....	144
Воротнікова З.Є., Бугуцький І.Г. Комп'ютерний зір у роботизованих автоматизованих системах ..	145
Гриценко О.М., П'ятаченко В.Ю. Розпізнавання тепловізійних зображень з використанням гібридних моделей машинного навчання	147
Овдий М., Кейда С.І. Застосування систем машинного зору для контролю якості у виробництві велосипедів	149
Проніна О.І., Перцев Є.А. Дослідження робастності алгоритмів розпізнавання друкованих цифр за умов різних рівнів імпульсного шуму.....	150
Chupryna Volodymyr, Savitskyi Roman. The use of eye-tracking technologies in educational systems ..	152
Фоменко В.О., Шовкопляс О.А. Частково-орієнтовані моделі як метод боротьби з оклюзією обличчя в системах розпізнавання.....	155
Шостак В.С., Балалаєва О.Ю. Розробка мобільної платформи з доповненою реальністю «Visualearn» для інтерактивної візуалізації складних навчальних концепцій.....	157
SECURITY [СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ БЕЗПЕКИ].....	160
Гринь Д.А., Макарова Г.В. Вплив користувацького досвіду на рівень кібербезпеки вебзастосунків	161
Побережник В.О., Опірський І.Р. Концепція системи керування децентралізованими ідентичностями на основі поєднання технології смарт контрактів та IPFS	162
Проніна О.І., Рейжевський М.І. Методи генерації та моделювання кібернападів для побудови систем виявлення загроз на основі машинного навчання	166
Чичкарьов Є.А. Система ідентифікації втручань з використанням нейромережевих технологій класифікації.....	168
E-LEARNING [ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАННЯ]	171
Khrystyna Moskalova, Mario Šercer, Mirjana Jurović AI-driven interactive learning tools for additive manufacturing.....	172
Yevhen Koval, Indira Renska. iGamification in e-learning: analysis of benefits, challenges, and implementation tools	174
Marko Lakhmatov Dr. Lyudmyla Kruhlenko. Intercultural communication and cyber-ethics in transnational education	176

Левицька Т.О. Інклюзивні цифрові практики у вищій освіті в умовах суспільних та воєнних викликів.....	179
Andrii Logachov, Lyudmyla Kruhlenko AI as a catalyst for multilingual academic inclusion	180
Yuliia Novichkova, Ivan Parkhomenko, Larysa Liashenko. Advancing cyber hygiene education through coil: interactive student-led workshop on digital security	182
Носовська С.В. Ефективність інтерактивних інструментів Moodle у персоналізованій СРС з вищої математики в кризових умовах	183
Поплавська Г.В. Аналіз ефективності використання Google Classroom у змішаному навчанні	187
Соломка А.С., Голуб Т.В., Зеленцова І.Я. Рекомендаційна система щодо вибору ментора із критеріальною оцінкою	189
Чернова М.Д., Горбачова Н.В. Засоби розробки програмного забезпечення для вивчення англійської мови	193
Шатківський В.М., Мосійчук В.О. Аналіз форматів навчання в контексті загальної середньої шкільної освіти	196
Шатківський В.М., Пшеничний О.С. Аналіз існуючих освітніх та енциклопедичних інформаційних сервісів з історії та культури України	198
Шатківський В.М., Чижевський В.В. Аналіз можливостей платформи Institute of Competition Sciences (ICS)	200
Шостак В.С., Балалаєва О.Ю. Розробка мобільної платформи з доповненою реальністю «Visualearn» для інтерактивної візуалізації складних навчальних концепцій.....	201
Янішевський В.І. Чат-боти як віртуальні асистенти викладача: можливості та обмеження	203
BIOMEDICAL ENGINEERING [БІОМЕДИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ]	206
Bogdan Efremenko, Angeliki Lekatou, Yuliia Chabak, Vaia Sarika, Ivan Sili. Effect of laser surface melting on microstructure and corrosion resistance of laser powder bed fusion and wrought Ti-6Al-4V alloys in simulated body	207
Polupanova Tetiana. Ultrasound neuromodulation in the treatment of neurodegenerative disorders	208
Азархов О.Ю., Сілі І.І. Сучасний стан наноструктурних сенсорів для біомедичних застосувань....	210
Горб І.Ю., Азархов О.Ю. Порівняльний аналіз температурних датчиків LM35 та DHT11 у мікропроцесорних системах біомедичного призначення.....	212
Єфременко Б.В., Чабак Ю.Г., Барма Є.А., Віктор Пухі. Поверхнєве лазерне гартування порошкової інструментальної сталі зі структурою «Матриця - карбід (МС, М7С3, М6С)»	214
Котов Я.А., Яворська Є.Б. Архітектурні вимоги та обмеження при інтеграції генеративних AI-сервісів з медичними інформаційними системами на базі стандарту HL7 FHIR	216
Криштопа А.О., Поліщук А.Д. Використання технологій доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності для стоматологічної освіти.....	219
Лисенко В.В., Сілі І.І. Носимі сенсори для моніторингу стану здоров'я та перспективи для персоналізованої медицини.....	221
Мамонтов Є.О. Аналіз електроенцефалограми та функціональної магнітно-резонансної томографії за допомогою чисельних методів	222
Нікітін В.С., Єфременко Б.В. Вплив термічної обробки на властивості адитивно-виготовленої біомедичної сталі 316L	225
Сиворка В.А., Тарнавська І.О. Цифрова медицина.....	226
Хоменко О.С., Смілова М.О., Прохоренко І.О. Дослідження температурної стабільності біостекло, модифікованих іонами магнію та стронцію.....	227

MATHEMATICAL MODELING [МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ] 230

Denys Grankin. Nonadiabatic chemoelectron energy conversion in catalytic semiconductor heterostructures: microscopic mechanisms, modeling, and prospects for high-efficiency power elements	231
Бабак Л.О., Юнькова О.О. Математичне моделювання інтегрального показника фінансової стійкості страхової компанії.....	233
Грицаюк О.В. Мобільні інформаційні технології для оцінювання теплових ризиків у повітряному та водному середовищах	236
Гулев Д.І., Димова Г.О. Адаптація транспортної задачі для оптимізації бюджету Digital-рекламних кампаній	238
Жаборовський Є.А., Антошкін О.А. Дослідження додаткових функцій при формуванні оптимізованих за складом шлейфів пожежної сигналізації.....	240
Лупаренко О.В. Площина пуанкаре та рекурентні діаграми як інструменти аналізу хаотичних режимів.....	243
Nadryhailo Tetiana, Chernetskiy Vladislav. Mathematical and computer modeling of impurity transfer during solidification of a steel ingot.....	246
Сергієнко А.В., Тригуб В.П. Модифікація ймовірнісної моделі вейбулла для прогнозування відмов автотранспорту з урахуванням динаміки витрат пального	250

SIMULATIONS [ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ] 252

Буланчук Г.Г., Буланчук С.О. Моделювання сучасного інтер'єру в програмі 3ds MAX із використанням Corona render на прикладі кухні та ванної кімнати.....	253
Жижкін Е.С., П'ятикоп О.Є. Моделювання системи кісток та керувальних елементів для 3D-моделі в середовищі Unity	255
Кривенко О.В., Новіков Д.Є. Дослідження ефективності компромісу між швидкістю та фотореалізмом при рендерингу освітлення за допомогою Eevee, Cycles та Luxcorerender	257
Кудряшова А.В., Доморад О.В. Застосування методів імітаційного моделювання для оптимізації післядрукарських процесів.....	259
Попов І.В., Джебраїлов Р.Ю., Губський О.М., Коршунова О.М. Метод прогресивного розкриття інтерфейсу робочого місця для керування динамічними об'єктами.....	261
Проніна О.І., Ніколаєв М.М. Використання методів процедурної генерації для створення планетарних світів.....	264

TECHNOLOGY TRENDS

[АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ]



МОДИФІКАЦІЯ КЛАСИЧНИХ МЕТРИК ЧИТАБЕЛЬНОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ API

Богуцький Данило Владиславович, аспірант III курсу навчання кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, bohutskiy2@gmail.com¹

Горбова Олександра Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, alexandra.gorbova@gmail.com²

¹ Український державний університет науки і технологій

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Постановка проблеми. Якість документації програмних інтерфейсів (API) є критично важливим фактором для успішної інтеграції та використання програмних продуктів. Одним із ключових об'єктивних показників якості тексту є його читабельність. Проте, існуючі автоматизовані засоби її оцінки, що базуються на класичних формулах, як-от індекс Ганнінга чи формула Дейла-Чалла, часто дають викривлені результати при аналізі технічних текстів. Причина полягає в тому, що ці алгоритми розцінюють поширені в IT-сфері терміни (наприклад, "framework", "asynchronous", "endpoint", "repository") як "складні" слова через їхню довжину або кількість складів. Це призводить до штучного завищення показників складності тексту та створює перешкоди для об'єктивного аудиту документації, роблячи її нібито менш доступною для цільової аудиторії, ніж вона є насправді.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення проблеми було запропоновано модифікувати алгоритми розрахунку класичних метрик читабельності, адаптувавши їх до специфіки технічної лексики. Ключова ідея полягає у впровадженні "базового словника розробника" – спеціалізованого переліку технічних термінів, які, попри свою формальну складність, є загальнозрозумілими та зрозумілими для цільової аудиторії розробників та інженерів.

На основі цього підходу було розроблено програмний прототип [1], в якому реалізовано модифіковані версії формул Dale-Chall, Gunning Fog та SMOG. Перед тим, як класифікувати слово як "складне" або "багатоскладове", оновлений алгоритм виконує додаткову перевірку: слово приводиться до нижнього регістру та здійснюється його пошук у "базовому словнику розробника". Якщо термін знайдено у цьому словнику, він ігнорується і не зараховується до категорії "складних", незалежно від його характеристик.

Для експериментальної перевірки було проаналізовано фрагмент офіційної документації фреймворку Laravel. Результати розрахунку індексу читабельності Ганнінга (Gunning Fog Index) до та після застосування запропонованої модифікації наведені у Таблиці 1.

Таблиця 1 - Порівняння результатів розрахунку Gunning Fog Index

Метод розрахунку	Значення індексу	Опис
Класичний	15.45	Відповідає рівню складних академічних текстів
Адаптований	13.07	Більш адекватне значення після ігнорування термінів "application", "database" тощо

Як видно з таблиці, після виключення з розрахунку стандартних для IT-сфери термінів, показник складності знизився до більш реалістичного значення. Такий підхід дозволяє уникнути помилкового підвищення індексу читабельності через насиченість тексту вузькоспеціалізованою, але стандартною для IT-сфери лексикою.

Висновки. Запропонована модифікація дозволяє значно підвищити точність та адекватність оцінки читабельності технічної документації API. Адаптовані метрики надають технічним письменникам та розробникам більш реалістичне уявлення про складність їхніх текстів, що сприяє покращенню якості документації та зниженню порогу входження для нових користувачів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на автоматичне розширення

"базового словника розробника" за допомогою методів машинного навчання та аналізу великих масивів технічних текстів з репозиторіїв та спеціалізованих ресурсів.

Список використаних джерел

1. Богуцький, Д. В. Програмний інструмент для оцінки якості документації API [Електронний ресурс] // GitHub. Режим доступу: https://github.com/danilBohutskiy/phd_formula (дата звернення: 19.10.2025).

ПЛАНУВАННЯ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ ГРУПИ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ У НЕВІДОМОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Воротнікова Злата Євгенівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій, mailgoldmailgold@gmail.com¹

Гілко Едуард Геннадійович, студент групи МА-24-М¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сьогоднішні промислові роботи здебільшого прив'язані до конкретного місця, що суттєво обмежує їх функціональність та адаптивність. Типовий промисловий робот є стаціонарним маніпулятором, жорстко закріпленим на підлозі або стелі виробничого приміщення. Його робоча зона обмежена довжиною маніпулятора та конструктивними особливостями. Для переміщення такого робота потрібна повна зупинка виробничого процесу, демонтаж, транспортування та повторне встановлення з наступним калібруванням – процедура, що займає дні або навіть тижні. Навіть сучасні автоматично керовані транспортні засоби (AGV), що використовуються на складах та логістичних центрах, мають серйозні обмеження. Вони, як правило, слідує за заздалегідь визначеними маршрутами, позначеними магнітними стрічками, QR-кодами або іншими мітками. Їхні навігаційні можливості обмежені, а здатність адаптуватися до змін у навколишньому середовищі мінімальна.

Така прив'язка до конкретного місця створює безліч проблем для сучасних виробництв: низька гнучкість виробництва, неефективне використання простору, обмежена масштабованість, уразливість до збоїв, високі початкові інвестиції.

Зараз на заводах почали з'являтися повністю автономні мобільні роботи, здатні переміщуватись по всій території підприємства без попереднього програмування маршрутів або спеціальної інфраструктури. Ця технологічна революція стала можливою завдяки поєднанню кількох передових технологій:

1. Просунуті системи сприйняття та навігації

Мобільні роботи нового покоління оснащені комплексними системами сприйняття, що включають лідери високої роздільної здатності для тривимірного картування простору з точністю до міліметрів. Також до їх складу входять стереоскопічні та глибинні камери, що забезпечують розпізнавання об'єктів та оцінку відстаней. Для виявлення перешкод у складних умовах освітлення застосовуються ультразвукові та інфрачервоні датчики. Безпечна взаємодія з об'єктами та людьми забезпечують тактильні сенсори, а точне відстеження положення та орієнтації у просторі – інерційні вимірювальні пристрої.

Сучасні алгоритми SLAM дозволяють роботам створювати детальні тривимірні карти навколишнього простору і точно визначати своє положення в них без використання GPS або зовнішніх маяків [1].

2. Штучний інтелект для прийняття рішень

Автономність мобільних роботів забезпечується просунутими алгоритмами штучного інтелекту, здатними планувати оптимальні маршрути в середовищі, що динамічно змінюється. Ці алгоритми враховують як фізичні перешкоди, а й рух людей, і навіть інші рухливі об'єкти.

Вони можуть прогнозувати зміни в навколишній обстановці, наприклад, передбачати напрямок руху людини, щоб заздалегідь скоригувати траєкторію. Крім того, такі системи здатні приймати рішення в умовах невизначеності, навіть якщо дані є неповними або суперечливими. Важливою особливістю є здатність навчатися власним досвідом, постійно вдосконалюючи навігаційні навички.

Ключова відмінність нових систем – вміння діяти у непередбачених ситуаціях. Якщо сучасні роботи зазвичай зупиняються перед несподіваною перешкодою, роботи наступного покоління шукатимуть обхідні шляхи, діючи так само гнучко, як людина [2].

3. Модульна конструкція та універсальні маніпулятори

Мобільні роботи нового покоління кардинально відрізняються від традиційних промислових моделей своєю модульною архітектурою. Конструкція таких роботів передбачає можливість встановлення різних маніпуляторів з адаптивними захватами, здатними працювати з об'єктами будь-яких форм та розмірів. Крім того, платформа підтримує підключення спеціалізованих модулів - зварювального обладнання, систем дозування, прецизійних вимірювальних приладів та інших інструментів.

Гнучкість системи забезпечується і за рахунок обчислювальних модулів, що розширюються, які дозволяють запускати спеціалізовані алгоритми обробки даних. Не менш важливими є змінні енергетичні блоки, що дають можливість оптимізувати баланс між продуктивністю і тривалістю автономної роботи.

Тепер замість десятка спеціалізованих машин можна використовувати одну універсальну платформу, яка за лічені хвилини трансформується під конкретне завдання.

4. Бездротовий зв'язок та хмарні обчислення

Високошвидкісні системи зв'язку стають ключовим елементом мобільної робототехніки майбутнього. Використання передових технологій 5G і перспективних мереж 6G забезпечить миттєву передачу даних із затримкою менше 1 мілісекунди, що критично важливо для роботи автономних систем [3].

Ці мережі мають виняткову пропускну здатність, дозволяючи передавати відеопотоки надвисокого дозволу та здійснювати складні хмарні обчислення в реальному часі. Це дає їм доступ до обчислювальних потужностей, які на порядки перевершують власні бортові ресурси, дозволяючи вирішувати завдання будь-якої складності з великою ефективністю.

5. Ройовий інтелект

Роботи можуть поєднуватися в "рої", де кожна одиниця - частина єдиного розподіленого інтелекту. Концепція ройового інтелекту, натхненна поведінкою соціальних комах, є фундаментальним зрушенням парадигми у промисловій робототехніці – від централізованого управління до децентралізованої самоорганізації.

Природні аналогії стали основою трьох ключових підходів.

Алгоритми мурашиної колонії використовують принцип стигмергії, де роботи залишають серед цифрові мітки-феромони, формуючи колективну пам'ять системи.

Алгоритми бджолиного рою імітують стратегію пошуку нектару, де розвідники виявляють ресурси та мобілізують решту членів спільноти.

Методи оптимізації роєм частинок відтворюють координату в пташиних зграях, де кожен агент коригує траєкторію з огляду на досвід сусідів.

Головна перевага підходу – стійкість: вихід із ладу окремих одиниць не порушує роботу всієї системи, оскільки завдання перерозподіляються між рештою учасників рою.

Ефективна комунікація становить основу життєздатності ройових систем. Спеціалізовані протоколи зв'язку розробляються з урахуванням чотирьох критичних вимог: стійкості до обривів зв'язку, масштабованості, енергоефективності та кібербезпеки.

Додатково сучасні протоколи включають механізми самодіагностики та автоматичного відновлення, що робить роєві системи особливо надійними у критично важливих застосуваннях від промислового виробництва до рятувальних операцій.

Здатність до самоорганізації досягається завдяки чотирма взаємодоповнювальними механізмами: посиленню успішних стратегій через позитивний зворотний зв'язок, придушенню

неефективних дій через негативний зворотний зв'язок, дослідженню нових можливостей через контрольовану випадковість та інтенсивному обміну інформацією між учасниками системи.

Самоорганізовані системи демонструють безпрецедентну стійкість до невизначеності. На відміну від жорстко запрограмованих рішень, вони природно перебудовуються за зміни умов, знаходячи оптимальні зміни без зовнішнього втручання.

Хоча повномасштабні промислові застосування ройової робототехніки ще попереду, вже сьогодні існує низка пілотних проєктів, які демонструють потенціал цієї технології:

1. Проєкт SWILT (Swarm Intelligence Layer for Transport).

Консорціум європейських компаній та дослідницьких інститутів розробляє систему управління транспортними потоками на виробництві з використанням принципів ройового інтелекту. У рамках пілотного проєкту на автомобільному заводі Volkswagen у Вольфсбурзі 50 автономних транспортних роботів координують свої дії для оптимізації доставки компонентів на лінію.

2. Проєкт TERMES (Термітні роботи для будівництва)

Дослідники з Гарвардського університету розробили систему, натхненну поведінкою термітів для автономного будівництва складних структур. Невеликі роботи, оснащені простими сенсорами та маніпуляторами, здатні спільно зводити тривимірні конструкції із стандартизованих блоків без централізованого плану чи координації. Кожен робот приймає рішення з урахуванням локальної інформації структуру, що він будує. Він визначає, куди помістити наступний блок, ґрунтуючись на тому, що вже побудовано, а не попередньо запрограмованої послідовності дій. Це дозволяє системі адаптуватися до непередбачених обставин, наприклад, якщо один із роботів виходить з ладу або якщо в конструкції виявляється дефект. Хоча проєкт розроблявся для будівництва в екстремальних умовах (наприклад, на інших планетах), його принципи вже знаходять застосування в модульному будівництві та виробництві великогабаритних композитних конструкцій.

Розвиток мобільної та ройової робототехніки кардинально змінює економіку виробничого сектора. На зміну традиційної моделі з великими капітальними вкладеннями стаціонарне обладнання приходить гнучкий підхід, що дозволяє підприємствам поступово нарощувати автоматизацію, додаючи роботів у міру необхідності. Особливого значення набуває модель "роботи як послуга" (RaaS), де компанії орендують робототехнічні системи, оплачуючи лише фактичне використання. Це значно знижує фінансові бар'єри для малих та середніх підприємств, роблячи автоматизацію доступною для ширшого кола виробників.

Проведення досліджень у цій галузі є вкрай актуальним. Можливості групового застосування мобільних роботів у невідомих середовищах визначаються насамперед рівнем розвитку методів групового децентралізованого управління. Відомі алгоритми планування траєкторії руху групи мобільних роботів у невідомому середовищі мають високу обчислювальну складність або не дозволяють знайти траєкторію, оптимальну по довжині шляху, з дотриманням безпечної дистанції до перешкод та інших роботів групи.

Метою роботи є підвищення ефективності розв'язання задачі планування траєкторії руху групи мобільних роботів з початкового положення в кінцеве у невідомому середовищі з перешкодами з урахуванням обмежених можливостей (сенсорних та обчислювальних) мобільних роботів та специфіки децентралізованого управління. Використані методи: розв'язання поставленої задачі здійснено на основі покрокової оптимізації поточного положення кожного робота групи щодо заданої мети.

У запропонованій методиці аналізується можливість руху кожного робота групи у напрямках, що визначаються засобами аналітичної геометрії на основі вимірювань бортових датчиків відстані. У разі неможливості руху в жодному з напрямків, проводиться оцінка положення сусідніх роботів групи і вибирається положення лідера як проміжний стан, при цьому здійснюється коригування траєкторії на основі вимірювань бортових датчиків відстані за наявності перешкод. Описана послідовність дій у запропонованій методиці ітеративно повторюється для руху кожного робота групи з початкового стану в проміжний і з проміжного в кінцевий. Критерієм зупинки є досягнення кожним роботом групи цільової позиції. Через

складність завдання, яке викликано великою розмірністю моделі та виконанням умов відсутності колізій, сьогодні не має ефективних чисельних чи аналітичних методів рішень. У роботі пропонується використовувати метод символної регресії для автоматичного побудови універсальної системи стабілізації, однаковою всім роботів, і чисельний еволюційний метод на вирішення завдання пошуку оптимального розташування точок стабілізації кожному за робота.

Список використаних джерел

1. Lin X., Yang X., Yao W., Wang X., Ma X., Ma B. Graph-based adaptive weighted fusion SLAM using multimodal data in complex underground spaces // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2024. Vol. 217. P. 101–119.
2. Z. Xu, B. Liu, X. Xiao, A. Nair, and P. Stone, “Benchmarking Reinforcement Learning Techniques for Autonomous Navigation,” 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2210.04839>
3. Xakak, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., et al. Autonomous vehicles in 5G and beyond: A survey. Vehicular Communications. 2023. Vol. 39. P. 100551. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100551>

ЕВОЛЮЦІЯ АРХІТЕКТУРИ КОРПОРАТИВНИХ СИСТЕМ

Воротнікова Злата Євгенівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій, mailgoldmailgold@gmail.com¹

Кожушина Андрій Андрійович, студент групи МА-24-М¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Основною метою вулично-дорожньої мережі є забезпечення безперешкодного руху транспортних і пішохідних потоків на максимально можливих швидкостях, а також організація ефективного сполучення з мінімальними затримками. Це передбачає, що рух транспортних засобів і пішоходів повинен здійснюватися на основі чіткої організації міського руху з використанням сучасних методів для підвищення ефективності функціонування дорожньої мережі.

Вивчаючи актуальні транспортні проблеми міст України, варто підкреслити важливість впровадження міської системи управління рухом. Така система має бути орієнтована на баланс між пропозицією і попитом у транспортно-пішохідній сфері, забезпечення необхідної безпеки дорожнього руху та зменшення шкідливого впливу автотранспорту на міське середовище.

Ефективне функціонування системи управління транспортними потоками в місті базується на створенні та впровадженні оперативного моніторингу завантаження вулично-дорожньої мережі транспортом і пішоходами. Це забезпечує швидкий доступ до інформації про зміни в трафіку в режимі реального часу.

Оперативність та ефективність управлінських рішень значною мірою залежать від скорочення часу між початком проблемної ситуації та впровадженням необхідних заходів. Тому система управління транспортними потоками повинна бути достатньо гнучкою, щоб швидко реагувати на локальні проблеми, забезпечуючи стабільну та ефективну роботу всієї вулично-дорожньої мережі.

Для визначення оптимальних параметрів транспортних потоків у межах міської вулично-дорожньої мережі доцільно використовувати методи математичного моделювання. Вони дозволяють точно описати поведінку учасників руху та відтворити основні характеристики і параметри дорожнього трафіку.

Сучасні умови диктують необхідність розробки рекомендацій з оптимізації дорожнього руху, що неможливо без використання методів математичного моделювання та прогнозування. Це дозволяє оцінювати розвиток дорожньо-транспортних ситуацій з урахуванням змінних факторів, які впливають на безпеку руху, таких як щільність потоку, максимальна швидкість, кількість перехресть, в'їздів та виїздів на конкретних ділянках дороги.

У моделюванні дорожнього руху застосовуються два основні підходи:

1. Детерміністичний (динамічний)
2. Ймовірнісний (стохастичний).

Детерміністичні моделі ґрунтуються на функціональних залежностях між різними показниками. Динамічні моделі описують як взаємодію між моделями, так і загальну динаміку руху потоку. У динамічному моделюванні виділяють два основні класи моделей: макроскопічні та мікроскопічні. Мікроскопічний підхід моделює взаємодію окремих транспортних засобів, тоді як макроскопічний – загальний рух потоку. Рух транспортних потоків описується різноманітними математичними моделями, що дозволяють отримати параметри руху для вирішення локальних завдань на конкретних ділянках вулично-дорожньої мережі. Усі існуючі моделі можна класифікувати за їх функціональним призначенням. Залежно від завдань, які вони допомагають вирішувати, умовно виділяють три основні класи:

1. моделі прогнозування завантаження транспортної мережі,
2. моделі динаміки транспортного потоку,
3. моделі оптимізації роботи транспортної мережі.

Головною метою моделей завантаження транспортної мережі є визначення параметрів транспортних і пішохідних потоків у межах всієї вулично-дорожньої мережі міста. Ці моделі дають змогу аналізувати обсяги міжрайонних переміщень, розподіляти транспортні потоки мережею, а також обчислювати усереднені показники функціонування транспортної інфраструктури після змін у маршрутній мережі пасажирського транспорту, функціональному призначенні території, кількості ділянок і перехресть тощо.

На основі таких моделей створені програмні продукти, зокрема VISUM, TransCAD, TRANSIMS, EMME/2, GUBE/TRIPS [19].

Імітаційні моделі транспортного руху забезпечують детальний опис руху транспортних засобів, визначаючи функціональні залежності між основними параметрами потоку, такими як швидкість і відстань між автомобілями. Для цих моделей характерний високий рівень деталізації, що вимагає значних обчислювальних ресурсів.

Серед програмних продуктів, які дозволяють виконувати таке моделювання, можна виділити BTS, VISUM, EMME/2, SATURN та NETCELL.

Оптимізаційні моделі транспортних мереж дозволяють оптимізувати параметри роботи вулично-дорожньої мережі міста.

Такі моделі застосовуються для розв'язання завдань оптимізації транспортних маршрутів, при розробці генеральних планів міст, для аналізу та визначення територій для розміщення об'єктів, а також для визначення найефективнішої конфігурації транспортної мережі. Зокрема, такі моделі дозволяють визначити кількість маршрутів, їхню довжину та оптимальний шлях проходження. Це сприяє підвищенню ефективності роботи транспорту, покращенню безпеки, зручності та комфорту перевезень. Моделі оптимізації конфігурації транспортної мережі використовуються.

Висновок

Моделювання транспортних потоків є важливим інструментом для управління транспортними системами у містах. Воно забезпечує можливість комплексного аналізу та прогнозування, що дозволяє ефективніше планувати розвиток міської інфраструктури. Використання моделей надає можливість підвищити ефективність використання транспортних ресурсів, зменшити затори та покращити загальну якість життя мешканців. Впровадження сучасних методів моделювання є ключовим кроком до створення стійких та комфортних міських середовищ.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ SPA ЗАСТОСУНКУ

Геря Ілля Васильович, студент групи МА-23, heria_i_v@pstu.edu¹,
Балалаєва Олена Юріївна, доцент, канд. техн. наук, доцент, декан факультету
інформаційних технологій, balalaeva_e_u@pstu.edu¹,
¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У час високих вимог до швидкості та користувацького досвіду, оптимізація завантаження Single Page Applications стає критичним фактором успіху продукту. Повільне завантаження призводить до високого показника відмов, втрати користувачів та негативного впливу на бізнес-метрики. Для стрімінгових платформ, де кожна секунда очікування може коштувати користувача, оптимізація продуктивності – це не просто технічна задача, а бізнес-необхідність.

Розглянемо великий React-застосунок стрімінгової платформи з комплексним технологічним стеком: React Router DOM для маршрутизації, Redux з близько 100 редьюсерів для управління станом, Protobufs для комунікації з бекендом, gl-react для відео-рендерингу, Lottie для анімацій, Datadog для моніторингу і ще близько 20 інших бібліотек. Така складність створює серйозні виклики для продуктивності, особливо на етапі початкового завантаження застосунку.

Основною метрикою для оцінки швидкості завантаження є Largest Contentful Paint (LCP) з Google Core Web Vitals. На початку оптимізацій LCP становив 10 секунд, що значно перевищує рекомендовані 2,5 секунди для хорошого користувацького досвіду.

Метою проєкту було досягнення LCP у 4 секунди як реалістичної та вимірюваної метрики покращення. Фокус оптимізації у даній роботі – сторінка стріму, як критичний user journey платформи.

Для комплексного аудиту продуктивності використовувались Chrome DevTools Performance tab для аналізу main thread активності, Lighthouse для автоматизованого аудиту та рекомендацій, Webpack Bundle Analyzer для візуалізації структури бандлів, а також Datadog RUM для моніторингу реальних користувацьких метрик. Ці інструменти дозволили отримати повну картину проблем та визначити пріоритети оптимізації.

Аналіз показав перевантаженість main thread через завантаження великої кількості коду, не пов'язаного зі сторінкою стріму. Network waterfall демонстрував зайві API виклики при ініціалізації, які блокували рендеринг критичного контенту. Bundle розподіл був неоптимальним – багато коду пакувалось в один великий chunk. Проблеми з import/export структурою призводили до того, що компоненти тягнули за собою зайві залежності. Protobuf схеми завантажувались синхронно, додаючи значну вагу до initial bundle. Найбільша проблема полягала в тому, що Redux store з близько 100 редьюсерів ініціалізувався повністю при старті застосунку, блокуючи main thread.

Перша критична оптимізація стосувалася впровадження code splitting по роутах з використанням React.lazy та dynamic imports. Це дозволило завантажувати код тільки для поточного роуту, значно зменшивши розмір initial bundle. Код сторінок, які користувач ще не відвідав, завантажувється тільки при навігації. Це дало суттєве покращення Time to Interactive та зменшило навантаження на main thread при початковому завантаженні.

Детальний аналіз мережевих запитів виявив, що багато глобальних API викликів виконувались синхронно при ініціалізації, блокуючи рендеринг сторінки стріму. Рішення полягало у відкладенні non-critical запитів, перенесенні деяких викликів за межі critical rendering path та організації паралельного завантаження даних замість послідовного. Це дозволило швидше відобразити критичний контент користувачеві.

Аудит дерева залежностей виявив проблеми з імпортами: деякі компоненти неявно тягнули за собою великі бібліотеки через неправильну структуру exports. Рефакторинг включав перехід на named imports замість default де можливо, розділення великих файлів на менші модулі, видалення unused dependencies. Це зменшило розмір bundle та покращило tree-shaking ефективність.

Кожна protobuf схема важила значно, а всі схеми завантажувались синхронно при старті. Впровадження dynamic imports для protobuf schemas дозволило завантажувати їх тільки коли вони дійсно потрібні. Це зменшило initial bundle size та розподілило навантаження на мережу та main thread в часі.

Використовуючи webpack-bundle-analyzer, була проаналізована структура всіх chunks та виявлені можливості для оптимізації. Впроваджена стратегія виділення окремих vendor chunks для бібліотек, які рідко змінюються (React, React Router DOM, Redux). Main chunk тепер містить тільки application code, який часто оновлюється. При релізах оновлюється переважно тільки main chunk, а vendor chunks залишаються в браузерному кеші користувача. Це значно зменшує об'єм даних, які потрібно завантажити при оновленні застосунку, та покращує cache hit rate

Багато глобальних компонентів (навігація, футер, модальні вікна) монтувались синхронно при старті застосунку, блокуючи завантаження критичного контенту. Рішення полягало в тому, щоб рендерити ці компоненти з затримкою, використовуючи setTimeout або requestIdleCallback. Це дозволило пріоритизувати critical rendering path та швидше показати основний контент користувачеві, в той час як non-critical UI монтується у фоні.

Найбільший bottleneck, що залишається – великий Redux store з близько 100 редьюсерів, великою кількістю actions, middlewares та селекторів. Весь store ініціалізується синхронно при старті застосунку, створюючи значне навантаження на main thread. Це архітектурна проблема, яка потребує поступового підходу до вирішення, щоб не порушити існуючу бізнес-логіку.

Для вирішення проблеми Redux store обрана стратегія поступової міграції з трьох напрямків. Перший підхід – винесення окремого функціоналу в мікрофронтенди, що дозволяє ізолювати state management та зменшити навантаження на головний store. Другий підхід – перенесення редьюсерів на рівень конкретних фіч, де state потрібен локально, а не глобально, та заміна їх на локальний компонентний state. Третій підхід – поступова заміна Redux slices на атомарний state manager Zustand, який має легшу ініціалізацію, менше boilerplate коду та більш гнучку архітектуру. Ця комплексна стратегія виконується повільно та обережно, з постійним тестуванням та моніторингом бізнес-метрик.

На поточний момент вдалося зменшити LCP з початкових 10 секунд до 6,5 секунд – покращення на 35 % або 3.5 секунди. Це суттєвий прогрес, хоча до цільової метрики 4 секунди залишається ще 2,5 секунди, що потребує продовження роботи над оптимізацією, особливо в напрямку Redux store та архітектури state management.

Крім покращення LCP на сторінці стріму, оптимізації позитивно вплинули на глобальні метрики проєкту. Краще кешування клієнтської сторони завдяки розумному chunking зменшило навантаження на мережу при оновленнях застосунку. Чистіша архітектура коду полегшила підтримку та розробку нових фіч. Впровадження code splitting покращило Time to Interactive для всіх роутів, не тільки для сторінки стріму.

У результаті Code splitting по роутах показав себе як ефективний та швидкий wins для зменшення initial bundle. Стратегічна оптимізація chunking з виділенням vendor chunks значно покращила кешування та зменшила трафік при оновленнях. Lazy loading важких залежностей, таких як protobuf схеми, розподілив навантаження в часі. Відкладений рендеринг non-critical UI дозволив пріоритизувати critical content. Чистка зайвих API викликів на critical path дала швидкий ефект на метрики.

Слід зазначити, що міграція з монолітного Redux store на більш гнучку архітектуру – це довгостроковий процес, який неможливо зробити швидко без ризику порушення бізнес-логіки. Впровадження мікрофронтендів потребує значних архітектурних змін та координації між командами. Оптимізація state management – це не разовий спринт, а постійний процес рефакторингу та покращення.

Таким чином, можна зробити висновок, що Performance budget має впроваджуватись з самого початку проєкту, а не коли вже виникли проблеми. Метрики продуктивності мають вимірюватись постійно та інтегруватись в CI/CD pipeline для раннього виявлення регресій. Поступова міграція краща ніж «big rewrite» – вона менш ризикована та дозволяє постійно доставляти цінність. Фокус на critical user journey дає найбільший business impact - оптимізація

всього відразу неефективна. Інструменти як Webpack Bundle Analyzer – це must-have для розуміння структури bundle та пошуку можливостей для оптимізації.

ПОБУДОВА CPSV-AP-UA – УКРАЇНСЬКОЇ АДАПТАЦІЇ CORE PUBLIC SERVICE VOCABULARY APPLICATION PROFILE

Дорогий Ярослав Юрійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та інформатики, cisco.rna@gmail.com¹

Піскун Андрій Михайлович, старший експерт центру компетенцій «Цифрові послуги», piskunan@gmail.com²

Корнєєв Михайло Юрійович, старший експерт центру компетенцій «Цифрові послуги», kornuyeyev16@gmail.com²

Цуркан Василь Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент спеціальної кафедри №5, v.v.tsurkan@gmail.com³

¹ ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

² e-Governance Academy (EGA)

³ Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Тези присвячено побудові CPSV-AP-UA – української адаптації Core Public Service Vocabulary Application Profile, яка є ключовим елементом для створення національного інтероперабельного каталогу державних послуг. У роботі розглядаються принципи стандартизації опису публічних послуг, інтеграція з європейськими фреймворками SDG та OOTS, а також технічні аспекти реалізації. Мета – висвітлити роль CPSV-AP-UA у забезпеченні семантичної сумісності, автоматизації процесів та підвищенні доступності державних сервісів для громадян і бізнесу в контексті євроінтеграції.

Вступ. Побудова CPSV-AP-UA є стратегічним кроком для модернізації цифрової інфраструктури України, спрямованим на гармонізацію національних каталогів державних послуг з європейськими стандартами. CPSV-AP (Core Public Service Vocabulary Application Profile) – це профіль застосування, розроблений Європейською Комісією для уніфікованого опису публічних послуг, що забезпечує їх машинозчитуваність та інтероперабельність. В українському контексті, CPSV-AP-UA адаптує цей стандарт до локальних потреб, враховуючи специфіку адміністративних процесів, законодавства та цифрової екосистеми, такої як портал Дія. Це дозволяє виключити дублювання даних, уніфікувати термінологію та інтегрувати послуги в єдиний європейський цифровий простір. Актуальність теми зумовлена необхідністю відповідності вимогам Single Digital Gateway (SDG) та Once-Only Technical System (OOTS), що полегшує транскордонні взаємодії для українців за кордоном.

Аналіз літературних джерел. Побудова CPSV-AP-UA базується на європейських стандартах семантичної інтероперабельності, які активно досліджуються в контексті цифрового врядування.

У роботі [1] описано CPSV-AP як модель для гармонізації опису публічних послуг, що стандартизує семантику життєвих та бізнес-подій. Підкреслюється роль профілю в забезпеченні крос-доменної та крос-бордерної інтероперабельності, з прикладами імплементації в ЄС.

У дослідженні [2] розглянуто версію CPSV-AP 3.0.0, з фокусом на UML-діаграми класів, властивості та застосування для створення каталогів послуг. Автори демонструють, як модель сприяє федерації даних на рівні ЄС, з рекомендаціями щодо адаптації для національних систем.

У статті [3] проаналізовано розширення CPSV-AP для персоналізованих послуг, включаючи інтеграцію з іншими словниками (Core Vocabularies). Наголошується на необхідності адаптації для не-ЄС країн, що актуально для України в процесі євроінтеграції.

У роботі [4] детально описано CPSV-AP 2.1, з акцентом на специфікацію класів (Public Service, Evidence, Output) та інтеграцію з DCAT-AP. Автори підкреслюють переваги для ефективного управління портфелями послуг та федерації каталогів.

Таким чином, огляд літератури свідчить, що CPSV-AP є гнучким інструментом для стандартизації, який можна адаптувати до національних контекстів, поєднуючи технічні та організаційні аспекти для підвищення ефективності публічних сервісів.

Основна частина. Вимоги до побудови CPSV-AP-UA, викладені в технічному плані національного інтероперабельного каталогу державних послуг, передбачають комплексний багаторівневий підхід, що охоплює методологічну основу, архітектуру даних, функціональні та нефункціональні вимоги, а також інтеграцію з європейськими системами. CPSV-AP-UA, як українська адаптація Core Public Service Vocabulary Application Profile, базується на європейській таксономії публічних послуг, яка класифікує послуги за життєвими подіями (life events) та бізнес-подіями (business events). Це забезпечує уніфікацію навігації для користувачів, дозволяючи зіставляти українські категорії Гіду державних послуг з європейською таксономією для гармонізованого пошуку та спрощення транскордонних взаємодій.

Процес починається з аналізу поточного стану каталогу, де виявляються дублювання, відмінності в термінології, розбіжності в переліках документів та інші невідповідності. На основі цього розробляється методологія UA-CPSV-AP, яка визначає обов'язкові атрибути послуг: назва, опис, компетентний орган, необхідні докази (Evidence), результати (Output), правові підстави (Legal Resource) та інші елементи. Семантична модель даних інтегрується з Core Vocabularies ЄС для опису ключових сутностей, таких як Person (особа), Organization (організація), Location (місце) та Evidence (доказ), гарантуючи семантичну сумісність незалежно від країни чи системи. Це дозволяє будувати автоматизовані перевірки (валідацію) та забезпечувати повторне використання даних у транскордонних сценаріях, як передбачено в європейських стандартах.

Архітектура CPSV-AP-UA передбачає використання DCAT-AP (Data Catalog Vocabulary Application Profile) для організації каталогу як набору даних з метаданими, що полегшує інтеграцію з SDG для транскордонних процедур. Модель ланцюжків та комплексів послуг формується за допомогою reasoning-технологій, таких як SPARQL (для запитів до семантичних даних), OWL (для онтологій) та SHACL (для валідації форм даних), що автоматизує послідовність дій користувача. Наприклад, для послуги "Реєстрація шлюбу" система може генерувати ланцюжок: перевірка необхідних документів (Evidence), подання заяви, отримання свідоцтва (Output), з урахуванням правових підстав (Legal Resource). Такий підхід виключає дублювання та надлишковість, роблячи каталог єдиним централізованим джерелом даних про послуги, документи та пов'язані елементи.

Інтеграція з європейськими системами є ключовим аспектом: CPSV-AP-UA забезпечує сумісність з OOTS, де принцип "одноразовості" (Once-Only Principle) дозволяє повторно використовувати дані без повторного подання, знижуючи адміністративне навантаження. Адаптація eIDAS (Electronic Identification, Authentication and Trust Services) та EU Digital Identity Wallets інтегрує національні механізми ідентифікації, такі як Дія.Підпис чи BankID, для безпечної транскордонної автентифікації. Користувачі зможуть зберігати та надавати цифрові атрибути (ID, дипломи, водійські права) через мобільні гаманці, з повним контролем над даними.

Функціональні вимоги охоплюють різні групи користувачів. Для державних органів передбачено кабінет адміністратора з інструментами для внесення, редагування та валідації даних: вебформи з мапінгом на семантичну модель, імпорт CSV/JSON-LD, валідація за SHACL-профілів UA-CPSV-AP та бізнес-правил (унікальність ідентифікаторів, використання довідників). Режими перевірки включають blocking (зупинка при критичних помилках) та warning (попередження з можливістю продовження), з автоматичною генерацією звітів у HTML і RDF/JSON. Для громадян та бізнесу портал пропонує інтуїтивний інтерфейс з пошуком, фільтрами за параметрами (категорія, орган, життєва подія), картками послуг та адаптивністю за WCAG 2.1 AA. Додатково впроваджуються інтелектуальні сервіси на базі ШІ: обробка природної мови (NLP) для семантичного пошуку, Retrieval-Augmented Generation (RAG) для рекомендацій та пояснень, що підвищує прозорість і довіру.

Нефункціональні аспекти фокусуються на форматах даних (RDF, JSON-LD, CSV/Excel для обміну, з content negotiation для REST API) та інструментах валідації (SHACL Validator для профілів UA-CPSV-AP, бізнес-правила для перевірки органів і документів). Технологічний стек включає мови програмування (Python, JavaScript), фреймворки (Django, Node.js/Express), бази даних (PostgreSQL для реляційних, GraphDB/Virtuoso для семантичних), системи кешування (Redis, RabbitMQ), контейнеризацію (Docker) та контроль версій (Git). Безпека забезпечується автентифікацією (govID, eIDAS), захистом від вразливостей (OWASP Top 10, включаючи XSS, CSRF, SQL-ін'єкції), моніторингом (збір логів у реальному часі, аудит дій) та відмовостійкістю (резервування, план відновлення).

Очікувані результати включають створення локалізованих профілів UA-CPSV-AP v1.0 та UA-DCAT-AP v1.0 з правилами валідації, єдиний довідник документів як контрольований словник (з атрибутами: тип, орган-емітент, термін дії), платформу даних з API (SPARQL endpoint, REST API), пошукову систему на Elasticsearch/OpenSearch, валідацію якості даних, кабінети для органів влади та публічний портал з багатомовністю. Інтеграції охоплюють національні системи електронної ідентифікації/eIDAS, реєстри, SDG/OOTS, з інтелектуальними сервісами AI для рекомендацій. Пілотування, масштабування (roll-out), операційна модель з моніторингом Service Level Objectives (SLO), документація, навчання та передача в експлуатацію забезпечать повну реалізацію. Додатково передбачено UX для прозорості користувачів, API-доступ для відкритих даних та аналітику зі звітами.

Ці заходи не тільки забезпечують стійкість системи до кіберзагроз та мінімізацію адміністративного навантаження, але й підвищують довіру користувачів, сприяючи ефективній цифровій трансформації державного управління в контексті євроінтеграції України.

Висновки. Побудова CPSV-AP-UA є критичною для цифрової трансформації України, забезпечуючи інтероперабельність з ЄС та оптимізацію державних послуг. Комплексний підхід до стандартизації, інтеграції ШІ та безпеки дозволить створити ефективний каталог, що зменшить дублювання, спростить транскордонні процедури та підвищить доступність. Рекомендується продовжити пілотування з фокусом на користувацький досвід та регулярне оновлення стандартів для повної реалізації потенціалу в контексті євроінтеграції.

Список використаних джерел

1. European Commission. Introduction to the Core Public Service Vocabulary Application Profile (CPSV-AP). – 2024. – URL: <https://surli.cc/djzjdb>.
2. SEMIC. Core Public Service Vocabulary Application Profile (CPSV-AP) 3.0.0. – 2022. – URL: <https://surli.li/xiylgw>.
3. Enhancing Core Public Service Vocabulary to Enable Public Service Personalization. – Information, 2022, 13(5), 225. – URL: <https://surli.li/oxapva>.
4. D04.01 – Core Public Service Vocabulary Application Profile 2.1. – 2017. – URL: <https://surli.li/kloqwc>.

ПОРІВНЯННЯ КЛАСИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕБРОЗРОБКИ З СУЧАСНИМИ ФРЕЙМВОРКАМИ НА ПРИКЛАДІ REACT.JS

Єрмоменко Кирило Анатолійович, студент групи КН-23,
кафедра комп'ютерних наук, yeromenko_k_a@students.pstu.edu¹,

П'ятикоп Олена Євгенівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, piatykop_o_ye@pstu.edu¹,

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Розвиток вебтехнологій призвів до значного розвитку інструментів і підходів до створення вебдодатків. Якщо раніше більшість сайтів будувалися на основі базових технологій

– HTML, CSS і JavaScript, то сьогодні все частіше застосовуються різноманітні фреймворки та бібліотеки, які в разі прискорюють розробку і полегшують розробку великих проєктів.

Одним з інструментів сучасної розробки є React.js. В роботі розглядаються ключові відмінності між традиційним “чистим” підходом і використанням фреймворків та проаналізовано можливості React.js як прикладу сучасного інструменту для створення ефективних користувацьких інтерфейсів.

Класичний підхід передбачає створення структури сторінки за допомогою HTML, стилізацію через CSS та забезпечення динамічної поведінки сторінки за допомогою JavaScript. Такий метод забезпечує повний контроль над кодом, не потребує додаткових інструментів і є оптимальним для простих сайтів.

Це все добре працює, але з ростом складності проєкту зростає і обсяг коду. Для оновлення елементів інтерфейсу доводиться безпосередньо працювати з DOM (Document Object Model), що є ресурсоємним і уповільнює роботу сторінки. Крім того, відсутність чіткої архітектури ускладнює масштабування та повторне використання функціональних частин коду.

React.js – це бібліотека JavaScript, яка пропонує нам компонентний підхід. Усі елементи інтерфейсу поділяються на незалежні компоненти, кожен із яких відповідає за власну частину логіки та відображення. Це дозволяє дотримуватись принципу DRY (Don't Repeat Yourself)- «не повторюй себе», завдяки легкому повторному використанні компонентів в різних частинах застосунку, зменшуючи обсяг дубльованого коду.

Ключовою особливістю React є Virtual DOM – внутрішнє представлення структури сторінки, яке оновлюється лише тоді, коли зміни дійсно відбулися. Це забезпечує вищу продуктивність, оскільки взаємодія з реальним DOM мінімізується. Ще однією важливою концепцією є стан (state) – це дані, які зберігаються всередині компонента та можуть змінюватися під час роботи програми. Зміна стану автоматично викликає оновлення інтерфейсу, тому розробнику не потрібно вручну змінювати елементи DOM, як у класичному підході.

Наприклад, у цьому фрагменті безпосередньо використання DOM, отримуючи елементи за id і змінюючи їхній вміст вручну:

```
<body>
  <button id="myButton">Натисни мене</button>
  <p id="message"></p>
  <script>
    // Звертаємось до DOM, щоб знайти кнопку
    const button = document.getElementById('myButton');
    // Звертаємось до DOM, щоб знайти елемент для виведення повідомлення
    const message = document.getElementById('message');
    // Кожного разу при кліку напряму змінюємо DOM (вміст <p>)
    button.addEventListener('click', () => {
      message.textContent = 'Привіт із JavaScript!';
    });
  </script>
</body>
```

Наступний фрагмент показує як розробник працює зі станом компонента (state), а не з реальними елементами сторінки:

```
import React, { useState } from "react";
function App() {
  // Створюємо стан 'message' і функцію 'setMessage' для його зміни.
  // При зміні стану React сам оновлює тільки потрібні елементи DOM.
  const [message, setMessage] = useState("");
  return (
    <div>
```

```
{/* У React не потрібно шукати елементи через getElementById –  
ми просто змінюємо стан, а React оновлює DOM сам */}  
<button onClick={() => setMessage("Привіт із React!")}>  
  Натисни мене  
</button>  
<p>{message}</p>  
</div>  
);}  
export default App;
```

React надає готові рішення, які спрощують і прискорюють розробку:

- функціональні та класові компоненти дозволяють розділити інтерфейс на логічні частини, що легко тестуються та повторно використовуються.

- хуки (Hooks), такі як `useState`, `useEffect`, `useMemo`, дозволяють працювати зі станом і життєвим циклом компонентів без використання класів. Наприклад, `useState` дозволяє зберігати дані всередині компонента, а `useEffect` – реагувати на зміни стану.

- контексти (Context API) спрощують передачу даних між компонентами без необхідності передавати їх через усі рівні вкладеності. Це значно полегшує роботу з глобальним станом застосунку.

- React Router забезпечує навігацію між сторінками без перезавантаження сторінки, що робить застосунок швидким і зручним для користувача.

Завдяки React, розробники можуть використовувати додаткові бібліотеки, як-от `Redux` чи `Zustand` для централізованого керування станом, або `Next.js` для серверного рендерингу, що ще більше підвищує ефективність роботи.

Загальне порівняння по основним критеріям наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика

Критерій	HTML, CSS, JS	React.js
Структура коду	Лінійна, неформалізована	Компонентна, модульна
Продуктивність	Висока для простих сайтів	Оптимізована завдяки віртуальному DOM
Масштабованість	Обмежена	Висока
Підтримуваність	Складна при великих проєктах	Полегшена через повторне використання компонентів
Робота зі станом	Реалізується вручну	Хуки, контексти, зовнішні менеджери стану

React.js є прикладом того, як сучасні фреймворки змінюють підхід до створення вебдодатків. Використання компонентів, контекстів і хуків не лише пришвидшує процес розробки, а й робить код структурованішим і легшим для підтримки.

У той час як розробка на чистих технологіях залишається доцільною для невеликих проєктів, застосування фреймворків, зокрема `React.js`, значно спрощує роботу з масштабними інтерактивними системами.

Таким чином, фреймворки не замінюють HTML, CSS і JavaScript, а розширюють їхні можливості, забезпечуючи більш ефективну реалізацію складних користувацьких інтерфейсів.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ВОГНЕТРИВІВ

Жовтобрух Сергій Анатолійович, старший викладач кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, zhovtobrukhs_a@pstu.edu¹
¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Встановлення вимог до надійності інформаційно-вимірювальної системи управління (ІВС) виробництва вогнетривів полягає у виборі показників, які використовуються для її кількісного опису. Ці показники розраховуються за функціями системи управління та її аварійними станами. Вихідними даними визначення вимог до ІВС є: 1) види та критерії відмов функцій системи; 2) оцінка функцій, що виконуються системою; 3) склад обладнання та задачі персоналу, що беруть участь у виконанні функцій системи; 4) можливі шляхи підвищення якості управління та зниження небезпеки виникнення аварійних ситуацій.

Безвідмовність ІВС – властивість системи виконувати всі необхідні функції протягом заданого інтервалу часу. Основними показниками безвідмовності ІВС, як відновлюваної системи є: - середнє напрацювання системи на відмову $MTTF_c$ у виконанні i -ої функції, год; - імовірність безвідмовного виконання системою i -ої функції протягом заданого часу t , $R_c(t)$; - інтенсивність відмов системи у виконанні i -ої функції $\lambda(t)_c$.

Особливістю розрахунку показників надійності ІВС виробництвом вогнетривів на стадії експлуатації є те, що статистичні дані або відсутні, або мають непередставницький обсяг. Передбачається, що ІВС може бути у трьох імовірнісних станах: повна та часткова працездатність, повна непрацездатність. Будь-яка відмова ІВС призводить до браку партії виробів, зупинки лінії та значних економічних втрат. Тому аналіз і підвищення надійності ІВС є критично важливим завданням.

Розглянемо ІВС виробництва вогнетривів реалізовану на базі промислових контролерів Siemens, датчиків температури Pt100, датчиків тиску, датчиків вологості вогнетривкової маси, датчиків положення. Основними об'єктами дослідження є коліно-важільний прес СМ-1085, змішувач, транспортери, тунельна піч (підсистема датчиків). Зі сторони апаратної частини ІВС: модулі вводу-виводу; контролер, як цілісна одиниця; канали зв'язку; джерела живлення з резервуванням.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Показник	Значення (розрахункове)	Значення (фактичне)	Нормативне значення (для ІВС)
Середній наробіток на відмову $MTBF_c$, год	3120	2847	≥ 5000
Інтенсивність відмов $\lambda(t)$, 10^{-6} 1/год	320,5	351,3	≤ 200
Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$	0,077	0,060	$\geq 0,30$
Коефіцієнт готовності K_g	0,9987	0,9979	$\geq 0,9995$
Коефіцієнт технічного використання K_{ti}	0,9963	0,9948	$\geq 0,998$

Аналіз функціонування інформаційно-вимірювальної системи управління виробництва вогнетривів показав: що найвужчі місця системи є датчики температури в зоні випалу вогнетривів (38 % відмов через перегрів і пил); модулі аналогового вводу (21 % відмов); канали зв'язку (17 % через електромагнітні перешкоди).

Для підвищення надійності ІВС пропонується заміна датчиків температури на моделі з керамічним захистом і примусовим охолодженням, впровадження резервування критичних модулів аналогового вводу та застосування оптоволоконних ліній зв'язку замість звичних коаксіальних. Це забезпечить зниження простоїв технологічної лінії та додасть додаткової економічної ефективності експлуатації ІВС.

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ B2B ПРОДАЖІВ

Жовтяк Даниїл Ігорович, студент групи КС-25м-1, магістр,
zhovtiak_d@365.dnu.edu.ua¹

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

Сучасний бізнес дедалі більше переходить до цифрових форматів взаємодії, що зумовлює потребу в автоматизації процесів продажів і вдосконаленні комунікацій між компаніями-партнерами [1]. У сфері B2B-продажів це особливо актуально, оскільки ефективність і швидкість обробки замовлень безпосередньо впливають на конкурентоспроможність підприємства та рівень задоволеності клієнтів.

Традиційні інструменти управління продажами часто потребують значних людських ресурсів і не забезпечують належної мобільності для сучасного користувача. У зв'язку з цим актуальним стає впровадження мобільних рішень, які поєднують зручність використання, високу швидкодію та можливість масштабування під потреби різних компаній.

Робота спрямована на побудову процесу розробки мобільного застосунку для автоматизації процесів B2B-продажів із використанням сучасних вебтехнологій, зокрема фреймворку React Native у поєднанні з платформою Expo. Таке технічне рішення забезпечує кросплатформеність, що дозволяє розгорнути один програмний продукт одночасно на пристроях Android та iOS, зменшуючи витрати на розробку та технічне обслуговування.

Метою дослідження є створення зручного, функціонального та масштабованого мобільного рішення, яке автоматизує основні процеси взаємодії між компанією та клієнтами від формування замовлення до комунікації з менеджером. Очікуваний ефект від запропонованого застосунку полягає у підвищенні ефективності роботи відділу продажів, скороченні часу обробки замовлень і мінімізації кількості помилок, пов'язаних із ручним введенням даних.

Особливість розробленого продукту спрямована на забезпечення його універсальності: архітектура застосунку спроектована таким чином, щоб його можна було легко адаптувати під потреби інших B2B-компаній, незалежно від галузі. Це робить розробку економічно доцільною та привабливою для подальшої комерціалізації [2]. Практична значимість роботи полягає у створенні гнучкого мобільного інструменту, що підвищує ефективність бізнес-процесів у сфері оптових продажів, сприяє цифровій трансформації компаній та демонструє потенціал сучасних вебтехнологій у вирішенні реальних бізнес-завдань.

Методологію дослідження побудовано на базі практико-орієнтованого підходу до розробки мобільних програмних продуктів, що поєднує прикладне програмування, аналіз користувацьких сценаріїв та модульне проектування архітектури. Основна мета полягає у створенні гнучкого, масштабованого та економічно ефективного рішення для автоматизації B2B-продажів із можливістю його подальшої адаптації під різні бізнес-моделі.

Основні етапи реалізації дослідження включали аналіз вимог бізнесу, проектування архітектури застосунку, розробку інтерфейсу користувача, інтеграцію з серверною частиною (API) та тестування функціоналу на реальних пристроях.

На першому етапі було проведено збір та узагальнення вимог компанії-замовника. Об'єктом дослідження виступив процес цифрової взаємодії між клієнтами та відділом продажів у контексті B2B-моделі. Характерною особливістю вибірки стала необхідність забезпечити зручність та швидкодію для широкої бази корпоративних клієнтів, що одночасно працюють із великими обсягами номенклатури товарів.

Другий етап передбачав проектування архітектури застосунку на основі принципів модульності, повторного використання компонентів та розділення логіки на клієнтську і серверну частини. Ключовим рішенням стало застосування фреймворку React Native у поєднанні з платформою Expo, що забезпечило кросплатформенність і можливість розгортання одного коду на пристроях з Android та iOS. Цей підхід дозволив зменшити витрати на розробку та спростити підтримку продукту.

На етапі реалізації особлива увага приділялася створенню UI/UX-дизайну, орієнтованого на швидку взаємодію користувача з каталогом продукції та оформленням замовлень. Було впроваджено систему динамічної фільтрації товарів, автоматичного оновлення даних через API та збереження історії замовлень. Інтерфейс розроблявся з урахуванням принципів мінімалістичного дизайну та інтуїтивної навігації, що є критично важливим для користувачів, які працюють у динамічних умовах продажів.

Інтеграція із серверною частиною виконувалася за допомогою REST API із використанням різних методів для передачі даних. Реалізовано авторизацію користувачів за токеном, що підвищує безпеку доступу та захищає комерційні дані клієнтів.

Інноваційним аспектом стало поєднання підходів швидкої розробки (Rapid Prototyping) із архітектурною масштабованістю це дозволило створити не просто додаток для однієї компанії, а універсальну платформу, яку можна адаптувати для різних галузей. Такий підхід забезпечує зниження вартості розробки майбутніх аналогів та скорочення часу виходу продукту на ринок.

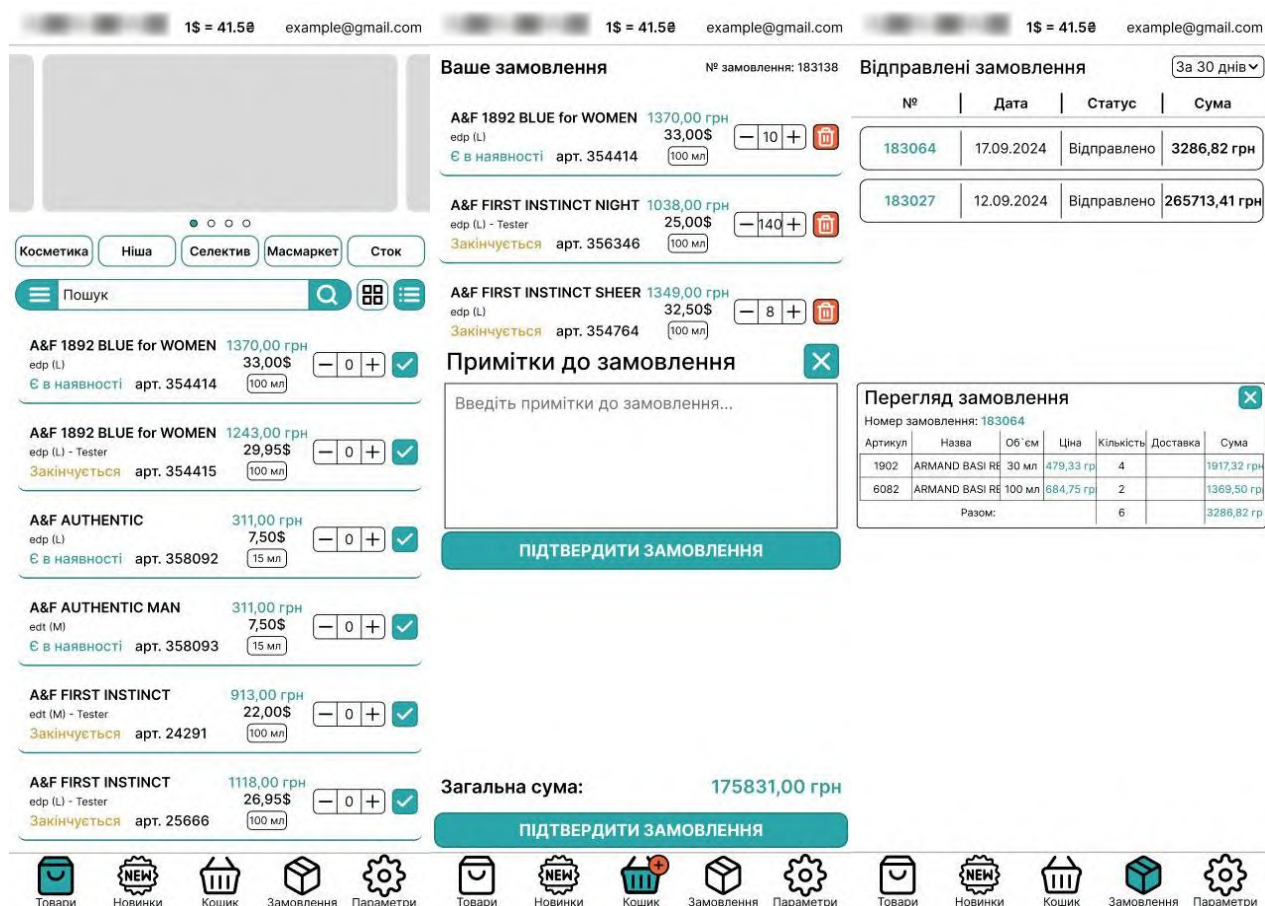


Рисунок 1 – Інтерфейс додатку

Завершальним етапом було функціональне тестування застосунку на реальних пристроях Android та iOS, під час якого оцінювалися стабільність роботи, швидкість завантаження даних, коректність взаємодії з сервером та зручність користувацького інтерфейсу. Результати тестування підтвердили надійність архітектури та ефективність запропонованого технічного рішення.

У результаті дослідження було створено кросплатформенний мобільний застосунок для автоматизації B2B-продажів, який забезпечує стабільну роботу на Android та iOS без потреби у двох окремих версіях. Це дозволило зменшити витрати на розробку більш ніж на 40% за рахунок використання єдиного коду на фреймворку React Native та платформи Expo, що усуває необхідність залучення окремих команд для Android і iOS, скорочує час тестування та спрощує подальшу підтримку продукту, модульна архітектура застосунку забезпечує гнучкість і

дозволяє швидко адаптувати функціонал під потреби різних бізнесів, зберігаючи стабільність і узгодженість системи.

Ключовим досягненням стало створення універсальної архітектури, яку можна адаптувати під потреби інших B2B-компаній без значних змін у коді. Це підтверджує ефективність використання сучасних вебтехнологій для створення масштабованих і економічно доцільних мобільних рішень, що відповідають тенденціям цифрової трансформації сучасного бізнесу.

У результаті дослідження було створено кросплатформенний мобільний застосунок для автоматизації процесів B2B-продажів, який забезпечує стабільну роботу на Android та iOS. Завдяки використанню єдиного коду на фреймворку React Native та платформі Expo вдалося зменшити витрати на розробку більш ніж на 40% і суттєво спростити технічну підтримку продукту. Наукова новизна роботи полягає у поєднанні підходів швидкого прототипування з модульною архітектурою, що забезпечує високу гнучкість, масштабованість і можливість швидкого налаштування додатку під потреби різних бізнесів без значних змін у коді.

Практичне значення дослідження полягає у створенні сучасного інструменту, який підвищує ефективність роботи відділів продажів, скорочує час обробки замовлень та мінімізує кількість помилок, пов'язаних із ручним введенням даних. Перспективи подальшого розвитку передбачають розширення функціоналу застосунку шляхом інтеграції з CRM-системами, додавання аналітичних модулів і впровадження технологій штучного інтелекту для автоматичного прогнозування попиту та персоналізації взаємодії з клієнтами.

Список використаних джерел

1. Klimova I., Hordieieva I., Sereda N., Pashchenko O., Petecki I. Strategic marketing in a dynamic market environment: adaptive approaches, analysis of trends and implementation of innovations. *Revista Conhecimento & Diversidade*. 2023. Vol. 15, No. 40. P. 98–118. DOI: <https://doi.org/10.18316/rcd.v15i40.11273>.
2. Molokanova V., Hordieieva I. Model and information technologies for adaptive management of organizations according to the criteria of efficiency and timeliness. In: 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Lviv, Ukraine, 2021. P. 383–386. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648657>.

ERP-СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ОБЛІКУ, АУДИТУ ТА УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

Жуковська Анна Олександрівна, студентка 3 курсу, annzhukovskay@gmail.com¹
Гострик Олексій Маркович, канд. економ. наук, доцент,
alexeygostrik@gmail.com¹

¹ Одеський національний економічний університет, м. Одеса

Сучасне підприємство є складною системою взаємопов'язаних бізнес-процесів, управління якими вимагає якісної інформаційної підтримки. У цьому аспекті ERP-системи (Enterprise Resource Planning) набувають ключового значення як інструмент для інтеграції основних управлінських функцій, таких як облік, аудит і прийняття рішень.

Програмний комплекс ERP охоплює всі аспекти бізнесу та поєднує їх у централізовану систему. Це допомагає компанії орієнтуватися в тому, що вона робить, які засоби має, як розподіляти дохід, про що звітувати фіскальним органам, як працювати з співробітниками, куди розвиватися і як пристосуватися до поточної ситуації, щоб досягти стратегічної мети [2]. Головною особливістю таких систем є використання спільної бази даних, яка допомагає уникнути дублювання інформації та забезпечує її узгодженість між підрозділами. Це формує основу для створення достовірної управлінської звітності та ухвалення обґрунтованих рішень.

В доповіді розглядаються питання впровадження в практику управління підприємством сучасних засобів автоматизації бізнес-процесів. Особлива увага приділена ERP-системам. 3

точки зору бухгалтерського обліку, впровадження таких систем передбачає перехід від ізольованої автоматизації окремих процесів до комплексної інтеграції всіх облікових операцій. На основі первинних документів, введених у різних модулях, таких як закупівля, продажі, виробництво чи складський облік, система автоматично генерує бухгалтерські проведення в режимі реального часу, що дає можливість своєчасно відстежувати фінансовий стан підприємства.

Особливу увагу заслуговує інтеграція фінансового та управлінського обліку в межах ERP-системи. У традиційних підходах ці види обліку зазвичай велися паралельно й навіть у різних інформаційних середовищах, що ускладнювало порівняння даних та аналіз відхилень. ERP-система забезпечує багатовимірний облік, коли одна й та сама операція одночасно враховується у фінансових і управлінських аспектах. Крім того, система дозволяє вести облік за різними аналітичними параметрами, такими як центри витрат, проєкти чи групи номенклатури, що надає керівництву інструменти для детального аналізу ефективності діяльності.

Щодо аудиторської діяльності, то впровадження ERP-систем суттєво трансформує підходи до проведення як внутрішнього, так і зовнішнього аудиту.

По-перше, система автоматично веде детальний журнал всіх операцій з фіксацією часу, користувача та змін у даних, що створює повний аудиторський слід.

По-друге, наявність вбудованих механізмів контролю, таких як обов'язкові поля, автоматична звірка залишків, контроль лімітів, дозволяє запобігти багатьом помилкам ще на етапі введення даних.

По-третє, можливості системи щодо формування аналітичних звітів та вибірок даних за складними критеріями значно спрощують процес аудиторської перевірки та підвищують її якість.

Внутрішній аудит отримує додаткові можливості завдяки функціоналу моніторингу операцій у режимі реального часу. Система може автоматично виявляти підозрілі операції, що виходять за встановлені параметри, та сигналізувати про необхідність їх перевірки. Це дозволяє перейти від ретроспективного контролю до превентивного, коли потенційні порушення виявляються та усуваються на ранніх стадіях. А також, розмежування прав доступу та обов'язкове затвердження критичних операцій декількома особами забезпечує додатковий рівень контролю.

Функціонал бюджетування в ERP-системах дозволяє формувати консолідований бюджет підприємства з деталізацією за різними рівнями – від бюджетів окремих проєктів до зведених фінансових бюджетів. Важливою є можливість багатоваріантного планування, коли можна порівняти різні сценарії розвитку подій та обрати оптимальний. У процесі виконання бюджету система автоматично відслідковує фактичні показники, сигналізує про перевищення лімітів та формує звіти про виконання бюджету з аналізом відхилень.

Інтеграція з іншими корпоративними системами розширює можливості ERP-рішень. Зокрема, інтеграція з системами бізнес-аналітики (BI) надає потужні інструменти для багатовимірного аналізу даних, візуалізації показників у вигляді дашбордів та інтерактивних звітів.[5] Інтеграція з системами управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM) забезпечує цілісне бачення клієнтського досвіду – від першого контакту до після продажного обслуговування. Інтеграція з системами електронного документообігу оптимізує процеси узгодження та затвердження документів.

Але при впровадженні ERP-системи, треба бути готовим до викликів. Спочатку, це високі початкові інвестиції, які включають не лише вартість ліцензій на програмне забезпечення, але й витрати на налаштування системи, міграцію даних, навчання персоналу. Для середніх підприємств такі витрати можуть становити суттєву фінансову навантаження. Потім, тривалість проєкту впровадження може займати від декількох місяців до кількох років залежно від масштабів підприємства та складності бізнес-процесів. І не треба забувати про опір персоналу новим змінам, він часто стає критичним фактором, що може призвести до невдачі проєкту.

Особливої уваги заслуговує питання вибору ERP-системи. На ринку представлені як великі міжнародні рішення (SAP, Oracle, Microsoft Dynamics), так і локальні продукти,

адаптовані до специфіки національного законодавства та бізнес-практик. Кожне з цих рішень має свої переваги та недоліки. Великі міжнародні системи пропонують широкий функціонал та можливості масштабування, проте є складними у впровадженні та вимагають значних інвестицій. Локальні рішення краще адаптовані до місцевих реалій, більш доступні за ціною, але можуть поступатися за функціональністю та можливостями інтеграції.

Важливим трендом останніх років є перехід до хмарних ERP-систем. Хмарні рішення знижують початкові інвестиції, оскільки не потребують придбання серверного обладнання та ліцензій на системне програмне забезпечення. Підприємство сплачує передбачувану щомісячну абонентську плату, яка включає всі витрати на підтримку та оновлення системи. Крім того, хмарні рішення забезпечують гнучкість масштабування – можна швидко збільшити або зменшити кількість користувачів залежно від поточних потреб бізнесу. Проте питання безпеки даних та залежності від інтернет-з'єднання залишаються актуальними для багатьох підприємств.

Успішне впровадження ERP-системи значною мірою залежить від якості бізнес-процесів підприємства. Якщо процеси неструктуровані, хаотичні та насичені виключеннями, автоматизація може лише закріпити такі недоліки. Тому перед впровадженням системи необхідно провести реінжиніринг бізнес-процесів. Цей етап передбачає аналіз поточних процесів, виявлення слабких місць і розробку оптимізованих рішень, які стануть основою для налаштування ERP-системи.

Одним із критичних факторів успішної роботи системи є якість даних. Оскільки ERP-система працює з великими масивами інформації, її некоректність (неповнота, застарілість, суперечливість) може стати перешкодою для отримання надійної звітності. Тому до ключових завдань у рамках впровадження належить очищення даних, яке включає виявлення та усунення помилок, дублікатів і нерелевантної інформації в існуючих базах перед їх перенесенням до нової системи.

Значної уваги також заслуговує проблема навчання персоналу. Обмежитися кількома тренінгами напередодні запуску системи недостатньо. Потрібен комплексний підхід, який охоплює базове навчання для всіх користувачів, інтенсивні програми для ключових співробітників і адміністраторів, а також створення внутрішніх ресурсів: бази знань з інструкціями, відеоуроками та описами типових сценаріїв. Дуже важливо налагодити систему користувацької підтримки, щоб своєчасно реагувати на запити та вирішувати проблеми, які можуть виникати під час роботи.

Досвід впровадження ERP-систем у вітчизняних компаніях показує як успішні приклади, так і провальні проекти. Успіх зазвичай супроводжує ті проекти, де керівництво мало чітке розуміння цілей, забезпечило достатнє фінансування та залученість ключових користувачів на кожному етапі. Невдачі зазвичай пов'язані з недооцінкою складності проекту, браком ресурсів, слабкою підтримкою від керівників і спротивом з боку персоналу.

Варто також окремо зазначити вплив ERP-систем на професійні компетенції спеціалістів з обліку та аудиту. З одного боку, автоматизація рутинних завдань дає змогу бухгалтерам більше часу присвячувати аналітичній роботі. З іншого боку, це висуває нові вимоги до їхніх навичок – необхідність розуміння логіки роботи системи, вміння налаштовувати звіти та аналізувати великі обсяги даних. При цьому трансформується і сама роль бухгалтера: тепер він стає не лише виконавцем стандартних задач, а й бізнес-партнером, на якого керівництво покладається в прийнятті стратегічних рішень.

Розвиток ERP-систем тісно пов'язаний із впровадженням новітніх технологій. Завдяки штучному інтелекту та машинному навчанню можлива автоматизація процесів прогнозування, ідентифікація аномалій у даних та персоналізація інтерфейсу залежно від потреб користувача. Блокчейн-технології здатні підвищити довіру до даних і спростити взаємодію між корпораціями. Інтернет речей дозволяє в режимі реального часу збирати дані безпосередньо з обладнання чи сенсорів, тоді як мобільні технології надають співробітникам доступ до системи з будь-якої точки світу, що особливо важливо для тих, хто працює у віддаленому режимі.

Таким чином можна стверджувати, що ERP-системи є потужним інструментом інтеграції обліку, аудиту та управління підприємством. Вони забезпечують єдиний інформаційний простір, підвищують якість та оперативність управлінської інформації, створюють основу для ефективного контролю та прийняття обґрунтованих рішень. Проте успішна реалізація потенціалу цих систем потребує комплексного підходу, що включає не лише технологічну складову, але й організаційні зміни, розвиток компетенцій персоналу, трансформацію корпоративної культури.

Список використаних джерел:

1. Сучкова В. Що таке ERP система. Shelfy. URL: <https://shelfy.com.ua/newsroom/shho-take-erp-systema> (дата звернення 10.11.2025)
2. Що таке ERP-система управління підприємством та де її краще розмістити?. SIM-Networks – Dedicated Servers, Cloud Servers, VPS for Business. Your Goals, our Tech. URL: <https://www.sim-networks.com/ukr/blog/enterprise-resource-planning-systems-and-cloud-infrastructure> (дата звернення 10.11.2025)
3. Кавецький В. В., Ратушняк О. Г. Сучасні системи управління плануванням та організацією виробництва. Електронне фахову видання «Ефективна економіка». 2021. №12. С. 1-8. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/35336/99651.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (дата звернення 10.11.2025)
4. Азаренков, А.О, Гострик, О.М. Оптимізація діяльності підприємств роздрібної торгівлі на базі інформаційно-керуючої системи підтримки рішень. Науковий вісник Одеського національного економічного університету: зб. наук. праць; за ред.: В.В. Коваленко, (ISSN 2409-9260). Одеса, 2024, №11(324), С. 55-61. ОНЕУ, DOI: [10.32680/2409-9260-2024-11-324-55-61](https://doi.org/10.32680/2409-9260-2024-11-324-55-61) (дата звернення 10.11.2025)
5. Гострик О. М., Ганевич М. О. Бізнес-аналітика – основа для інноваційних перетворень управлінської складової бізнесу. Науковий вісник Одеського національного економічного університету: зб. наук. праць; за ред.: В.В. Коваленко (голов. ред.). (ISSN 2409-9260). Одеса: Одеський національний економічний університет. 2023. № 10 (311). С. 72-79. URL: <https://tinyurl.com/29brgs9r> (дата звернення 10.11.2025)

ТИПОЗАБЕЗПЕЧЕНА ОБРОБКА ПОМИЛОК З ПАТЕРНОМ RESULT

Котвіцький Ілля Віталійович, здобувач кафедри інженерії програмного забезпечення, ipz224_kiv@student.ztu.edu.ua¹

Савіцький Роман Святославович, ст. викладач кафедри інженерії програмного забезпечення, roman.savitskyi@gmail.com¹

¹ Державний університет «Житомирська політехніка»

У традиційному програмуванні обробка помилок часто базується на механізмах винятків або використанні спеціальних значень на кшталт null. Такий підхід має низку недоліків. Винятки є дорогими з точки зору продуктивності [1], неочевидними в сигнатурах методів і часто ведуть до непередбачуваних ситуацій під час виконання. Як альтернатива, у сучасному дизайні програмного забезпечення дедалі частіше застосовується патерн Result, який пропагує підхід до повернення даних, що робить помилки частиною контрольованого потоку виконання [2].

Патерн Result ґрунтується на ідеї, що будь-яка операція, яка може завершитись помилкою, має повертати результат, який містить або значення у разі успіху або опис помилки у разі невдачі. Це дозволяє явно передавати стан виконання, не порушуючи контроль потоку за допомогою винятків. Помилки більше не є побічними ефектами, що потребують додаткових механізмів обробки, а стають частиною контракту методу. Такий підхід формалізує взаємодію між компонентами. Викликаюча сторона завжди отримує однозначний сигнал про результат

операції і може керовано реагувати на невдачі. Це дозволяє зменшити кількість несподіваних винятків, спрощує тестування, а також робить поведінку системи передбачуваною для розробників [3]. На рисунку 1 наведено спрощену діаграму, що демонструє логіку роботи патерна Result у контексті взаємодії компонентів системи.

У цьому підході навіть у разі невдачі програма не перериває виконання, а лише змінює сценарій обробки. Це створює прозору систему контролю потоку, де кожна помилка має свій логічний шлях і контекст, а результат передається далі по ланцюгу обчислень.

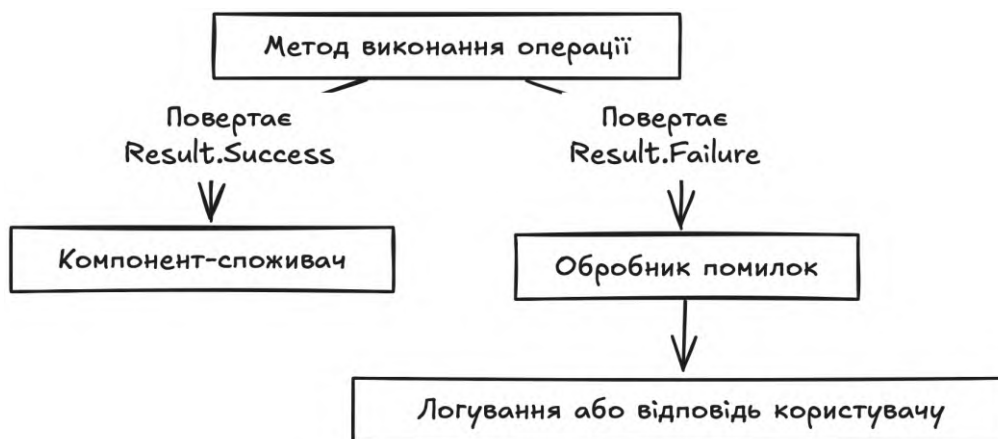


Рисунок 1 – Спрощена схема використання Result у взаємодії між компонентами

Порівняно з класичним підходом на основі try-catch, патерн Result має низку суттєвих переваг. По-перше, він уникає витрат на створення і обробку винятків, які включають генерацію стеку викликів, збереження контексту виконання та активацію механізмів обробки. Такі витрати суттєво впливають на час виконання і можуть стати критичними у високонавантажених системах. Використання Result як альтернативи дозволяє повертати помилки як звичайні значення без втрат продуктивності [1]. По-друге, він робить помилки явними у сигнатурах методів, що сприяє стандартизації інтерфейсів та знижує ймовірність типових помилок, пов'язаних з непостійною обробкою винятків. Крім того, він зберігає лінійність потоку виконання, полегшуючи читання й написання коду. Ще одна перевага – відсутність потреби у виняткових стрибках потоку. Винятки створюють додаткові рівні вкладеності та вимагають складних блоків обробки, тоді як Result дозволяє реагувати на помилки у звичній логіці виконання. Це не лише покращує продуктивність, але й полегшує налагодження, оскільки помилки відслідковуються у контрольованому середовищі без стрибків у стеку викликів. На практиці це спрощує розуміння життєвого циклу помилки від її виникнення до повернення результату клієнтському коду. При цьому важливо розуміти, що винятки не зникають як концепція. Вони мають залишатися інструментом для справді непередбачуваних або критичних ситуацій, у яких програма не знає, як діяти далі. Такі помилки доцільно лише зафіксувати – наприклад, залогувати разом зі стеком викликів для подальшого аналізу. Саме в таких випадках механізм винятків відіграє свою природну роль – сигналізує про виняткову, а не очікувану ситуацію [1].

Ідея типізованих результатів походить із функціонального програмування, де широко використовуються типи Either, Option або Maybe. У сучасних мовах, таких як TypeScript або Kotlin, патерн Result використовується для побудови декларативного керування помилками, подібного до реактивного потоку подій. Такий підхід дозволяє перетворювати послідовність обчислень у «ланцюг результатів», де кожна операція виконується лише у разі успіху попередньої. Це усуває потребу у громіздких перевірках і спрощує логіку послідовної обробки даних.

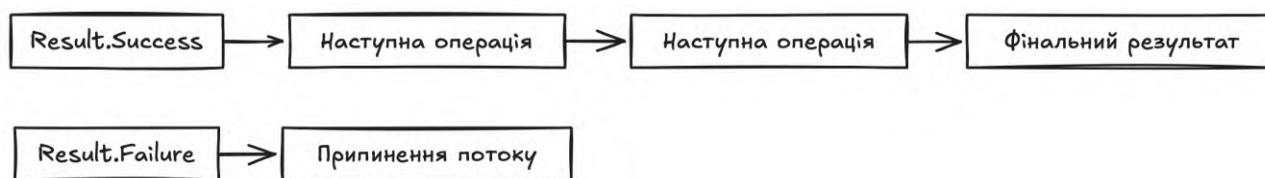


Рисунок 2 – Логіка ланцюжкового виконання операцій у функціональному стилі

Патерн Result забезпечує передбачуваність і стабільність у роботі з помилками, а також дозволяє централізовано описувати всі можливі стани операції, уникати дублювання логіки обробки виключень та спрощує тестування. Завдяки типізації можна визначати конкретні типи помилок, з якими може працювати метод, і гнучко на них реагувати. У складних системах це дозволяє створювати єдину мову помилок, що підвищує зрозумілість і сумісність між різними модулями. На рисунку 3 показано типовий приклад структури результату у вигляді двох можливих станів – успішного (Success) та неуспішного (Failure).

Патерн Result забезпечує передбачуваність і стабільність у роботі з помилками, а також дозволяє централізовано описувати всі можливі стани операції, уникати дублювання логіки обробки виключень та спрощує тестування. Завдяки типізації можна визначати конкретні типи помилок, з якими може працювати метод, і гнучко на них реагувати. У складних системах це дозволяє створювати єдину мову помилок, що підвищує зрозумілість і сумісність між різними модулями. На рисунку 3 показано типовий приклад структури результату у вигляді двох можливих станів – успішного (Success) та неуспішного (Failure).

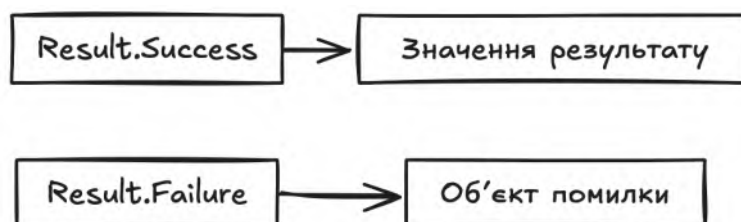


Рисунок 3 – Два основних стани об'єкта Result

У практичному застосуванні такі об'єкти можуть містити додаткову інформацію – коди помилок, повідомлення користувачу чи навіть вкладені результати інших операцій. Це робить Result гнучким механізмом, який можна інтегрувати як у прості утилітарні функції, так і в складні бізнес-процеси.

У контексті API патерн Result дозволяє точно й структуровано формувати відповіді [4]. Замість того, щоб кидати винятки та покладатися на глобальні обробники, система повертає типізовані результати з чітко визначеними кодами помилок і повідомленнями. Це дає змогу реалізувати каскадну обробку, де кожен компонент системи, незалежно від архітектури, приймає рішення щодо подальшої обробки або трансляції помилки. Механізм забезпечує контрольованість і прозорість, сприяє модульності та робить поведінку API послідовною. У такий спосіб забезпечується контрольований, прозорий та гнучкий механізм обробки, що дозволяє будувати більш передбачувану й модульну архітектуру. Це спрощує обробку помилок на клієнтській стороні й дозволяє уникати неоднозначних ситуацій [4]. Особливо корисним є централізоване перетворення результатів у HTTP-відповіді. У типовій архітектурі API створюється окремий компонент, який має успішні результати на статус-код 200 або 201, а помилки – на коди 400, 404, 409 або 500 залежно від типу збою [2]. Такий підхід забезпечує послідовність у відповідях, знижує ризик дублювання логіки та робить API більш передбачуваним для клієнтів. Розглянемо сценарій, у якому API обробляє створення нового користувача. Замість кидання винятку у разі вже існуючого запису, метод повертає

Result.Failure з кодом Conflict. Клієнт отримує передбачувану відповідь зі статусом 409 та повідомленням про причину невдачі. Це дозволяє підтримувати однакову логіку на всіх рівнях системи – від доменної моделі до кінцевого REST-ендпоінта, що істотно спрощує обробку помилок і підвищує узгодженість [2].

Як і будь-який інший патерн, Result має свої межі застосування. Його не варто використовувати для критичних або непередбачуваних збоїв, як-от помилки пам'яті чи внутрішні збої платформи. У таких випадках виключення залишаються доречними. Надмірне використання Result у простих методах може створювати надлишкову структурність – з'являються повторювані обгортки, шаблонні блоки перевірок та додаткові типи, що ускладнюють код без реальної користі. Щоб уникнути цього, рекомендується централізувати шаблони обробки у вигляді окремих сервісів або компонентів, які реалізують узгоджені підходи до формування результатів.

Патерн Result є ефективною альтернативою класичній обробці винятків. Він допомагає підвищити продуктивність, зробити потік виконання передбачуваним і забезпечує чітку структуру для передачі інформації про помилки. Його використання особливо доцільне у високонавантажених або розподілених системах, де важливо підтримувати стабільність і однорідність механізмів обробки помилок. У поєднанні з централізованими механізмами обробки та логування Result дозволяє підвищити прозорість процесів і спростити діагностику помилок.

Список використаних джерел

1. Microsoft Docs. Exceptions and Performance [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/exceptions/>.
2. Jovanović, M. Functional Error Handling in .NET with the Result Pattern [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.milanjovanovic.tech/blog/functional-error-handling-in-dotnet-with-the-result-pattern>.
3. Wlaschin, S. Railway Oriented Programming [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://fsharpforfunandprofit.com/rop>.
4. Microsoft Docs. Web API error handling [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/web-api/handle-errors>.

СМАРТ-КОНТРАКТИ ЯК ІНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГОЛОСУВАННЯ

Курочка Андрій Сергійович, студент другого (магістерського) рівня
групи КС-25м, andriikurochka@ukr.net¹

¹ Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара, м. Дніпро

Сучасне суспільство дедалі більше інтегрує електронні системи в процеси організації та процесії проведення виборів та опитувань, що підвищує швидкість та доступність голосування. Проте традиційні централізовані електронні системи голосування стикаються із проблемами, пов'язаними з безпекою, прозорістю та довірою виборців, зокрема можливістю фальсифікації результатів і недостатнім захистом анонімності [1].

Запровадження технологій блокчейн та смарт-контрактів створює нові можливості для створення децентралізованих систем електронного голосування, які гарантують незмінність результатів, автоматизацію підрахунку та прозорість процесу без необхідності довіряти третім сторонам [2].

При проектуванні та реалізації прототипу було здійснено порівняння сучасних технологій електронного голосування, зокрема платформ Helios, Scytl, Polyas, а також сервісів, що працюють на основі централізованих баз даних та блокчейн-рішень на Ethereum, EOS, Hyperledger, Algorand.

Helios є одним з найвідоміших open-source рішень для онлайн-голосування [3], що використовує криптографію для забезпечення приватності голосу. Однак система не гарантує абсолютної незмінності результатів після голосування, а прозорість доводиться лише математичними доказами, що потребують додаткової експертизи користувача, та схильна до ризику централізованого зберігання ключів [3].

Scytл та Polyas підтримують масштабовані вибори, але більшість компонентів залишаються централізованими, що спричиняє ризики втручання адміністраторів чи хакерських атак, обмежену прозорість для кінцевого користувача, а також залежність від закритих протоколів.

Метою дослідження є розробка архітектури та впровадження прототипу, що включає модулі для реєстрації виборців, управління голосуваннями, підрахунку голосів та аудиту результатів. Робота включає аналіз існуючих підходів, розробку коду контрактів і тестування функціоналу, що підтверджує надійність і ефективність запропонованої системи.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що спроектована система дозволить автоматизувати процес голосування, гарантуючи незмінність і достовірність результатів для невеликих та середніх спільнот.

Практична значимість роботи полягає в можливості застосування розробленої системи для підвищення прозорості, безпеки голосувань у локальних організаціях, що сприятиме посиленню довіри і демократичної участі в процесі прийняття рішень.

Основні етапи практичної реалізації включали проектування архітектури системи, розробка смарт-контракту, створення клієнтської частини, функціональне тестування, та аналіз отриманих результатів.

На першому етапі в ході проектування архітектури системи була створена модульна структура, що складається з реєстрації виборців, керування сесією голосування, підрахунку голосів та аудиту результатів. На наступному етапі відбувалася розробка смарт-контракту, який автоматизує процеси реєстрації виборців, голосування, підрахунку голосів та верифікації результатів.

Наступним кроком для взаємодії користувачів із системою створено клієнтську частину у вигляді вебінтерфейсу, що дозволяє реєструватися, обирати кандидата та відстежувати хід голосування в режимі реального часу. Інтерфейс інтегровано з блокчейн мережею за допомогою бібліотек Web3.

Далі проведено функціональне тестування системи у тестовому середовищі Ethereum.

У завершальній частині здійснено аналіз отриманих результатів придатності розробленої системи.

У методології реалізації була використана сучасна зв'язка мови програмування Rust та блокчейн-платформи Solana. Вибір зв'язки Rust і Solana був зумовлений кількома ключовими перевагами цих технологій саме для сфери розробки смарт-контрактів та децентралізованих застосунків. Rust забезпечує дуже високий рівень продуктивності та безпеки – завдяки суворій системі управління пам'яттю і статичній типізації, що дає змогу уникати цілого класу помилок, властивих багатьом іншим мовам. Ця мова дозволяє писати передбачуваний, ефективний код, який витримує великі навантаження, а її активна спільнота вже створила потужні бібліотеки для криптографії та блокчейну. Solana як блокчейн-платформа обрана через її високу пропускну здатність, низьку затримку, невеликі комісії за транзакції та підтримку паралельного виконання інструкцій, що ідеально підходить для сценаріїв з великою кількістю учасників, як голосування. Більше того, Solana офіційно підтримує Rust як основну мову для створення своїх програм, що спрощує розробку, тестування та подальшу підтримку, та, на відміну від більшості платформ, дозволяє реалізовувати більш складну логіку із збереженням високої швидкості обробки транзакцій.

Розроблений контракт містив логіку реєстрації та перевірки виборців, обмеження до єдиного голосу, збереження записів голосування та функції для автоматичного підрахунку результатів. Для тестування використовувалися інструменти локального кластеру Solana (solana-test-validator), а також інструмент ganache для спрощення написання смарт-контрактів і

взаємодії з блокчейн. Вебінтерфейс системи розроблявся з використанням React.JS та web3.js, що забезпечує прямий зв'язок із програмою Solana, підпис запитів через гаманці (Metamask/Phantom).

У результаті проведеного дослідження було розроблено та протестовано прототип системи електронного голосування, що використовує смарт-контракти як механізм автоматизації процесів.

Функціональне тестування системи у тестовому середовищі Ethereum показало відповідність системи вимогам, таким як захист від подвійного голосування, забезпечення анонімності, стійкість до атак і надійність. Отримані результати підтвердили висунуту гіпотезу про можливість забезпечення незмінності та достовірності результатів голосування для невеликих і середніх спільнот. Розроблений смарт-контракт успішно реалізував функції реєстрації виборців, обмеження до одного голосу, автоматичного підрахунку та публічного збереження результатів у блокчейні Solana. Під час функціонального тестування в тестовому середовищі Solana (solana-test-validator) було досягнуто середнього часу обробки транзакції 0.43 секунди при вартості однієї транзакції менше ніж 0.000005 SOL (приблизно 0.0007 долара США). Усі сто тестових сценаріїв завершилися успішно, що свідчить про стабільність і коректність роботи системи ($p < 0.01$). Виявлено закономірність, за якої продуктивність системи лінійно зростає зі збільшенням кількості валідаторів, а під час пікового навантаження (50 одночасних користувачів) затримка не перевищувала однієї секунди. Також підтверджено незмінність результатів після завершення сесії голосування, що унеможливорює будь-яке втручання без створення нової виборчої події. У порівнянні з централізованими платформами, такими як Helios чи Scytal, запропонована система показала підвищення швидкості обробки транзакцій на 80% і зменшення вартості операцій приблизно у 12 разів. Усі результати можуть бути незалежно перевірені через відкритий блокчейн, що забезпечує прозорість і виключає необхідність довіряти третім сторонам.

Найважливішою тенденцією стало виявлення стабільної роботи архітектури навіть при підвищенні навантаження на мережу, а також простежена залежність між кількістю транзакцій і часом обробки: система витримувала зростання учасників без критичного зниження продуктивності.

Для подальшого розвитку системи можна розглянути кілька перспективних напрямків розширення функціоналу та підвищення безпеки. Інтеграція Zero-Knowledge Proofs (ZKP) дозволяє перевірити коректність голосування або право виборця брати участь, не розкриваючи при цьому жодної додаткової інформації про особу чи зміст вибору. Це суттєво підвищує рівень анонімності й захисту персональних даних, а за допомогою сучасних протоколів zk-SNARK чи zk-STARK можливо досягти як приватності, так і масштабованості для систем із великою кількістю учасників.

Використання мультипідписів (multisig) у смарт-контрактах забезпечує додатковий рівень безпеки при управлінні критичними функціями або підбитті підсумків голосування. Наприклад, фіналізація результатів чи запуск аудиту може відбуватися тільки після колективного підтвердження кількома незалежними валідаторами або адміністраторами.

Додатково застосування хешування відкритих результатів дозволить зберігати компактні докази голосування у блокчейні – це підвищить швидкість перевірки та знизить навантаження на мережу. Такі механізми особливо ефективні, якщо система масштабується або інтегрується з іншими децентралізованими сервісами.

Мета дослідження досягнута – створено прототип системи електронного голосування на базі смарт-контрактів, що забезпечує автоматизацію, прозорість і захист від подвійного голосування. Система показала високу швидкодію та надійність. Новизна полягає у використанні Rust і блокчейну Solana для безпечного та швидкого голосування. Розробка має практичне значення для впровадження електронних виборів у різних сферах. Подальші дослідження варто спрямувати на підвищення анонімності та масштабованості системи.

Список використаних джерел

1. Javaid M. A. Electronic voting system security. SSRN electronic journal. 2014. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2393158>.
2. Swan M. Blockchain: blueprint for a new economy. O'Reilly Media, Incorporated, 2015. P. 149.
3. E-voting system evaluation based on the Council of Europe recommendations: Helios Voting / L. Panizo Alonso та ін. IEEE transactions on emerging topics in computing. 2018. С. 1. <https://doi.org/10.1109/tetc.2018.2881891>.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗОНОЮ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МБЛЗ

Лубкін Богдан Віталійович, студент групи МА-24-М, lubkin_b_v@students.pstu.edu¹,
Черевко Олена Олександрівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри
автоматизації і комп'ютерних технологій, cherevkoea89@gmail.com¹,
¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Ефективність процесу вторинного охолодження істотно впливає на якість зовнішньої поверхні та внутрішню структуру безперервнолитого зливка. Нерівномірне охолодження призводить до виникнення термічних напружень, які можуть спричинити утворення тріщин як на поверхні, так і всередині зливка. Швидкість вторинного охолодження прямо впливає на час повної кристалізації і, відповідно, на продуктивність машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Сформульовано вимоги до вторинного охолодження зливка, які полягають у підтримці заданого профілю температури поверхні протягом усього процесу. Завдання динамічної системи вторинного охолодження (ДСВО) полягає у забезпеченні відповідності між фактичною та еталонною температурою поверхні зливка під час вторинного охолодження.

На основі аналізу параметрів ДСВО МБЛЗ, запропоновано ряд удосконалень, зокрема, розроблено структуру модернізованої ДСВО для окремої секції вторинного охолодження.

Пропонується оснастити ДСВО системою прямого контролю температури поверхні зливка за допомогою пірометрів спектрального відношення. Такий контроль забезпечить ряд переваг:

- за наявності контролю температури в кожній секції ЗВО, датчики температури можуть замінити модель кристалізації зливка в ДСВО, створюючи замкнуту систему автоматичного регулювання (САР) температури поверхні для кожної секції, що дозволить наблизити фактичну температуру до еталонної;
- безпосередній контроль температури в різних точках МБЛЗ дозволить використовувати ці дані як граничні умови для моделі кристалізації, підвищуючи точність розрахунку температурного поля та прогнозування протяжності двофазної зони, що важливо для ефективної роботи системи м'якого обтиску;
- дані, отримані з прямого контролю температури, можна використовувати для налаштування моделі кристалізації, зокрема для визначення коефіцієнтів тепловіддачі в секціях ЗВО.

Для реалізації налаштування моделі кристалізації пропонується додати до ДСВО МБЛЗ відповідну підсистему. Підсистема налаштування моделі дозволить визначати дійсні значення коефіцієнтів тепловіддачі, що дасть можливість уточнити таблиці витрат.

У разі виходу з ладу одного або декількох датчиків ДСВО автоматично перейде до попереднього режиму роботи.

Отже, прямий контроль температури поверхні зливка дозволить значно підвищити ефективність вторинного охолодження, і вдосконалення не вплинуть на надійність роботи ДСВО, оскільки у разі виникнення проблем завжди можна повернутися до початкового режиму.

Список використаних джерел

1. Огурцов А. П. Безперервне лиття сталі / А. П. Огурцов, А. В. Гресс. – Дніпро: Системні технології, 2002. – 675 с.
2. Смирнов А. Н. Сучасні сортові МБЛЗ: перспективи розвитку технології та обладнання / А. Н. Смирнов, А. Л. Подкоритов // Технології. – 2009. – № 12. – С. 18-25.

МОДУЛЬ РОЗРАХУНКУ КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ РОЗРАХУНКУ РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ

Малюкін Олександр Володимирович, здобувач вищої освіти
за спеціальністю Інформаційні системи та технології,
sasamalukin0201@gmail.com¹

Мельников Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент,
в. о. зав. кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень,
alexandr@melnikov.in.ua¹

¹ Донбаська державна машинобудівна академія

Освітлення суттєво впливає на життя людей, правильний розрахунок рівня освітлення є важливим для забезпечення оптимальних умов роботи, навчання та відпочинку. Автори проаналізували основні методи розрахунку рівнів освітлення, їх переваги та недоліки, а також сучасні підходи до оцінки освітлення, поставили та розв'язали задачу створення спеціалізованого додатка – інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення [1–3]. У роботі [4] наведено приклади використання розробленої системи. Спочатку створена система використовувала тільки один метод, тому у роботі [5] було запропоновано низку різних методів розрахунку освітленості, таким чином користувач має можливість обирати кращий метод, на його погляд, у кожному випадку.

Але перед розрахунком рівня освітлення потрібно здійснити розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла. Згідно з [6, 7], для розрахунку кількості джерел освітлення в приміщенні використовуються три основні методи: світловий потік (коефіцієнт використання); питома потужність; точковий. Метод світлового потоку зазвичай використовується для розрахунку потужності освітлювальної установки з рівномірним розподілом світильників загального освітлення по горизонтальній площині, коли немає великих об'єктів. Цей метод враховує як пряме, так і відбите світло. У цьому методі апроксимується перехід від середнього до мінімального освітлення. Метод питомої потужності використовується в тих самих випадках, що й метод світлового потоку. Цей метод вважається наближеним, оскільки простота розрахунків досягається ціною деякої втрати точності. Загальне місцеве освітлення, а також загальне рівномірне освітлення у випадках значного затінення слід розраховувати точковим методом. Цей же метод використовується для розрахунку освітленості похилих поверхонь та відкритих просторів, а також місцевого освітлення. У точковому методі відбита компонента освітлення враховується приблизно.

Сформульовано задачу розрахунку раціонального розміщення джерел світла як сукупності двох окремих задач:

- розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення;
- розрахунок рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Обидва розрахунки мають поєднатися в інформаційній системі – програмному застосунку, який би дозволив здійснити розрахунки кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення, а також рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Алгоритм дій користувача є наступним: спочатку здійснюється розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла у першому модулі системи, далі результати передаються у другий модуль системи, де користувача зможе як перевірити рівень освітлення у кожній точці приміщення, так і здійснити «переміщення» джерел, якщо це буде потрібно.

Роботу нового створеного модуля краще розглядати на прикладі простого розрахунку. Після запуску застосунку маємо форму, що представлено на рис. 1.

Назва показника	Значення
Рівень освітлення E	0
Кількість світильників N	0
Кількість ламп в кожному світильнику n	0
Світловий потік лампи (в люменах) F	0
Коефіцієнт утилізації CU	0
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF	0
Площа поверхні, на яку падає світло A(S)	0
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні R _{av}	0
Нормована освітленість E _n	0
Коефіцієнт запасу K _з	0
Коефіцієнт використання світлового потоку p	0
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z	0
Кількість рядів світильників pr	0
Потужність однієї лампи, Вт	0
Сумарна електрична потужність, Вт	0

Рисунок 1 – Форма застосунку після завантаження

Далі ми маємо можливість або вручну ввести усі дані, або скористатися кнопкою «Завантажити». На рис. 2 представлено форму застосунку із завантаженими даними, а також після натискання кнопки «Розрахувати».

Назва показника	Значення
Рівень освітлення E	323
Кількість світильників N	8
Кількість ламп в кожному світильнику n	4
Світловий потік лампи (в люменах) F	1180
Коефіцієнт утилізації CU	1
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF	1
Площа поверхні, на яку падає світло A(S)	18
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні R _{av}	0
Нормована освітленість E _n	300
Коефіцієнт запасу K _з	1.3
Коефіцієнт використання світлового потоку p	22
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z	1.1
Кількість рядів світильників pr	2
Потужність однієї лампи, Вт	20
Сумарна електрична потужність, Вт	640

Рисунок 2 – Форма застосунку після завантаження

Але під час редагування даних можна використовувати (рис. 3):

- допомогу;
- визначення даних.

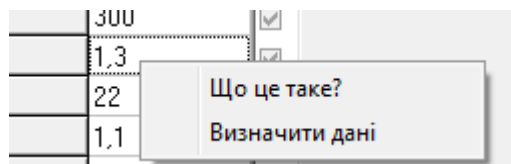


Рисунок 3 – Спливаюче меню

Далі показано:

- допомога для вибору коефіцієнта запасу (рис. 4, а);
- визначення даних коефіцієнта запасу (рис. 4, б);
- допомога для вибору коефіцієнта використання світлового потоку (рис. 5, а);
- визначення даних коефіцієнта використання світлового потоку (рис. 5, б);
- допомога для вибору ламп (рис. 6, а);
- визначення даних вибору ламп (рис. 6, б).

Допомога

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнта запасу K_z

Характеристика приміщення	Приклади приміщень	Значення K_z для освітлених лампами	
		газорозрядними	розжарювальні
1. Робочі приміщення з освітленням середньої висоти в робочій зоні: а) більше 5 мж/м^2 площі, диму, кітків	Алюмінієві фабрики, цементні заводи, обробні цехи лісних підприємств, цехи швейних, швейних, ковбасних, лісних, картопляних, заготовчих, обробних цехів	2	1.7
б) від 1 до 5 мж/м^2 площі, диму, кітків	Цехи швейних, швейних, картопляних, заготовчих, обробних цехів	1.8	1.5
в) менше 1 мж/м^2 площі, диму, кітків	Цехи інструментальні, складальні, механічні, швейні, ткацькі, деревообробні	1.5	1.3
г) значні концентрації парів нафти, диму, пилу, які шкідливі при згорянні з висотою утворення слабокислотного осадку, диму, а також мають властивість знижувати чистоту повітря	Цехи швейних, швейних, картопляних, заготовчих, обробних цехів, цехи гальванічних покриттів і гальванопластики, різні галузі промисловості з застосуванням електролізу	1.8	1.5
2. Верхопідвісні приміщення з особливим режимом чистотою повітря при обслуговуванні світлового потоку	—	1.3	1.15
а) з технічного поверху	—	1.4	1.2
б) з боку приміщення	—	1.5	1.3
3. Приміщення громадських і житлових будівель	Кабінети і робочі приміщення громадських будівель, житлові кімнати, вивальні приміщення, читальні зали, чайні кімнати, торговельно-заказні	1.5	1.3

(а)

Розрахунок освітлення

Параметри	Очистити	Завантажити	Зберегти
Назва показника			Значення
Рівень освітлення E			323
Кількість світильників N			8
Кількість ламп в кожній світильнику n			4
Світловий потік лампи (в люменах) F			1180
Коефіцієнт експлуатації CU			1
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF			1
Площа поверхні, на яку падає світло $A(S)$			18
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні ρ_{av}			0
Нормована освітленість E_n			300
Коефіцієнт запасу K_z			1.3
Коефіцієнт використання світлового потоку p			22
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z			1.1
Кількість рядів світильників pr			2
Приміщення			Лампи
☐ робочі з більше 5 мж/м^2 ☐ робочі від 1 до 5 мж/м^2 ☐ робочі менше 1 мж/м^2 ☐ значні концентрації парів ☐ особливі з технічним поверхом ☐ особливі з низьким приміщенням ☐ громадські будівлі	☐ газорозрядні ☐ розжарювальні	☒ 20 ☒ 640	☒ 1.3 ☒ Застосувати

Метод розрахунку
☐ метод люмену
☐ метод Сампнера
☒ поточковий метод

Розрахувати

Показати

Прибрати

Зберегти

(б)

Рисунок 4 – Допомога (а) та визначення даних (б) для вибору коефіцієнта запасу

Допомога

Таблиця 1.3 – Коефіцієнти використання світлового потоку з люмінесцентними лампами

Тип світильника	ПВЛМ-Р	ЛОУ	ШОД	ЛПО01	ЛСП01
$R_{\text{ста}} \%$	70 50 30	70 50 30	70 50 50	70 50 50	70 50 50
$R_{\text{стн}} \%$	50 30 10	50 30 10	50 50 30	50 50 30	50 50 30
t	Коефіцієнти використання, %				
0.5	25 18 13	26 21 16	22 16 14	25 23 20	25 23 22
0.6	29 22 17	30 24 20	28 21 18	31 29 24	31 29 26
0.7	34 26 20	34 28 24	32 24 21	36 34 28	35 33 30
0.8	36 28 23	37 31 27	35 27 24	39 37 32	38 36 32
0.9	40 31 25	40 34 30	38 30 27	42 41 35	41 38 35
1.0	43 34 28	43 37 32	41 32 29	46 44 38	43 40 37
1.1	45 36 30	45 39 34	43 34 31	48 46 41	45 42 39
1.25	47 38 32	48 42 37	46 37 34	51 49 44	47 44 41
1.5	51 42 35	51 46 41	50 40 37	55 53 49	50 46 44
1.75	54 45 38	54 49 44	53 43 40	58 57 52	52 49 47
2.0	56 47 40	56 50 46	55 45 42	61 59 55	54 50 48
2.25	58 49 42	58 52 48	57 47 44	63 62 57	56 52 50
2.5	60 51 44	60 54 50	59 48 45	65 64 59	57 53 51
3.0	63 53 46	62 56 52	61 50 48	68 66 62	59 54 52
3.5	64 54 48	63 57 53	63 52 50	70 68 64	60 56 54
4.0	65 56 49	64 58 55	65 54 52	71 69 66	61 56 55
5.0	68 59 52	66 61 58	67 56 53	75 72 70	63 58 57

(а)

Розрахунок освітлення

Параметри	Очистити	Завантажити	Зберегти
Назва показника			Значення
Рівень освітлення E			323
Кількість світильників N			8
Кількість ламп в кожній світильнику n			4
Тип світильника			ПВЛМ-Р 70/50
Світловий потік лампи (в люменах) F			1180
Коефіцієнт експлуатації CU			1
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF			1
Площа поверхні, на яку падає світло $A(S)$			18
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні ρ_{av}			0
Нормована освітленість E_n			300
Коефіцієнт запасу K_z			1.3
Коефіцієнт використання світлового потоку p			22
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z			1.1
Кількість рядів світильників pr			2
Приміщення			Лампи
☒ ПВЛМ-Р 70/50 ☐ ПВЛМ-Р 50/30 ☐ ПВЛМ-Р 30/10 ☐ ЛОУ 70/50 ☐ ЛОУ 50/30 ☐ ЛОУ 30/10 ☐ ШОД 70/50 ☐ ШОД 50/50 ☐ ШОД 50/30 ☐ ЛПО01 70/50 ☐ ЛПО01 50/50 ☐ ЛПО01 50/30 ☐ ЛСП01 70/50 ☐ ЛСП01 50/50 ☐ ЛСП01 50/30	☐ 0.5 ☐ 0.6 ☐ 0.7 ☐ 0.8 ☐ 0.9 ☐ 1.0 ☐ 1.1 ☐ 1.25 ☐ 1.5 ☐ 1.75 ☐ 2.0 ☐ 2.25 ☐ 2.5 ☐ 3.0 ☐ 3.5 ☐ 4.0 ☐ 5.0	☒ 20 ☒ 640	☒ 1.3 ☒ Застосувати

Метод розрахунку
☐ метод люмену
☐ метод Сампнера
☒ поточковий метод

Розрахувати

Показати

Прибрати

Зберегти

(б)

Рисунок 5 – Допомога (а) та визначення даних (б) для вибору коефіцієнта використання світлового потоку

Допомога

Таблиця 1.4 – Характеристики ламп розжарювання та люмінесцентних ламп

Лампи розжарювання						Люмінесцентні лампи загального призначення					
загального призначення (U=220 В)						місцевого освітлення					
Потужність, Вт	Тип лампи	Світловий потік, лм	Потужність, Вт	Тип лампи	Напруга, В	Світловий потік, лм	Потужність, Вт	Тип лампи	Світловий потік, лм	Довжина лампи, мм	
25	В	320	15	МО	12	300	20	ЛДЦ	850	0,6	
40	Б	400	25	МО	12	380	20	ЛД	1000	0,6	
40	БК	460	40	МО	12	620	20	ЛБ	1200	0,6	
60	Б	715	60	МО	12	850	30	ЛДЦ	1500	0,9	
60	БК	790	25	МО	36	300	30	ЛД	1800	0,9	
100	Б	1350	40	МО	36	600	30	ЛБ	2180	0,9	
100	БК	1430	60	МО	36	800	40	ЛДЦ	2200	1,2	
150	Г	2000	100	МО	36	1550	40	ЛД	2500	1,2	
150	Б	2100	40	МОЗ	12	400	40	ЛБ	3200	1,2	
200	Г	2800	60	МОЗ	12	660	80	ЛДЦ	3800	1,5	
200	Б	2920	60	МОЗ	36	650	80	ЛД	4300	1,5	
300	Г	4500	100	МОЗ	36	1200	80	ЛБ	5400	1,5	

(а)

Розрахунок освітлення

Очистити Завантажити Зберегти

Назва показника	Значення	
Рівень освітлення E	323	в
Кількість світильників N	8	в
Кількість ламп в кожному світильнику n	4	в
Світловий потік лампи (в люменах) F	1180	в
Коефіцієнт утилізації CU	1	в
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF	1	в
Площа поверхні, на яку падає світло A(S)	18	в
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні Rав	0	в
Нормована освітленість Ep	300	в
Коефіцієнт запасу Kз	1,3	в
Коефіцієнт використання світлового потоку п	22	в
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z	1,1	в
Кількість рядів світильників пр	2	в
Потужність однієї лампи, Вт	20	в
Сумарна електрична потужність, Вт	640	в

Метод розрахунку
☐ метод люмену
☐ метод Сампнера
☒ поточковий метод

Розрахувати
Показати
Прибрати
Зберегти

(б)

Рисунок 6 – Допомога (а) та визначення даних (б) для вибору ламп

На рис. 7 представлено схематичне розташування ламп у приміщенні.

Розрахунок освітлення

Параметри

Назва показника	Значення	
Рівень освітлення E	323	в
Кількість світильників N	8	в
Кількість ламп в кожному світильнику n	4	в
Світловий потік лампи (в люменах) F	1180	в
Коефіцієнт утилізації CU	1	в
Параметр втрати світла (light loss factor) LLF	1	в
Площа поверхні, на яку падає світло A(S)	18	в
Зважена за площею середня дзеркальність поверхні Rав	0	в
Нормована освітленість Ep	300	в
Коефіцієнт запасу Kз	1,3	в
Коефіцієнт використання світлового потоку п	22	в
Коефіцієнт нерівномірності освітлення Z	1,1	в
Кількість рядів світильників пр	2	в
Потужність однієї лампи, Вт	20	в
Сумарна електрична потужність, Вт	640	в

Розташування

Метод розрахунку
☐ метод люмену
☐ метод Сампнера
☒ поточковий метод

Розрахувати
Показати
Прибрати
Зберегти

Рисунок 7 – Схематичне розташування ламп

Далі зберігаємо дані для їхньої передачі до модуля розрахунку рівня освітлення. Як можна побачити, червоного кольору тут не виникає.

Illumination

Creating Lighting Data Map

Lightness

X= 594 Color= 0
Y= 278 Red= 0 Green= 0 Blue= 0

Issue
☐ from "creating"
☒ from data array

612 225 150

Рисунок 8 – Схематичне розташування ламп

Розроблена інформаційна система (програмний застосунок) дозволяє здійснити розрахунок кількості, потужності та розташування джерел світла для отримання задовільного рівня освітлення, а також рівня освітлення залежно від розташування цих джерел.

Список використаних джерел

1. Малюкін О. В., Мельников О. Ю. Задача створення інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення. Проблеми та перспективи розвитку освіти, науки та технологій в умовах воєнного стану: зб. наук. пр. за матеріалами IV Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. м. Бережани, 20 березня 2024 року. Бережани: ВСП «Бережанський фаховий коледж НУБіП України», 2024. С. 199–202.

2. Мельников О. Ю., Малюкін О. В. Моделювання розрахунку рівня освітлення. Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції. М-во освіти і науки України; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв. Київ : Видавничий центр КНУКіМ, 2024. С. 107–110.

3 Малюкін О. В., Мельников О. Ю. Проектування інформаційної системи для розрахунку рівня освітлення. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій. Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. Одеса, Видавництво ОНТУ, 2024. С. 245–247.

4 Мельников О. Ю., Малюкін Д. С. Інформаційна система для розрахунку рівня освітлення. Інформаційні технології та цифрова економіка: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. М-во освіти і науки України; Державний університет інфраструктури та технологій. Київ: Видавничий центр ДУІТ, 2024. С. 117–119.

5. Малюкін О. В., Мельников О. Ю. Аналіз методів розрахунку рівня освітлення. Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. Матеріали XXV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 17-18 квітня 2025 р. Одеса, Видавництво ОНТУ, 2025. С. 24–26.

6. Юсіна Г. Л., Дементій Л. В. Організація роботи студентів з виконання розділу «Охорона праці» дипломних проєктів. Краматорськ: ДДМА, 2009. 88 с.

7. Дементій Л. В., Юсіна Г. Л. Охорона праці в автоматизованому виробництві. Забезпечення безпечної праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Краматорськ: ДДМА, 2007. 300 с.

DIGITAL MANAGEMENT FEATURES OF OPEN SCIENCE DATA REPOSITORIES BASED ON FAIR PRINCIPLES

Nikiforova Liliia Oleksandrivna, Ph.D. in Economics, Associate Professor,
Senior researcher Department of European Integration and International
Cooperation, nikiforovalilia@gmail.com¹

Shyian Anatolii Antonovych, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,
Senior researcher Department of European Integration and International
Cooperation anatoliy.a.shyian@gmail.com¹

¹ State Scientific and Technical Library of Ukraine, Kyiv

Scientific information is becoming one of the key resources for knowledge generation, decision-making and support of innovation. An important component of this process is the creation and development of information systems and platforms. Such platforms ensure effective management of scientific data, their preservation, accessibility and reuse in accordance with the FAIR principles.

In international practice, a significant role is played by national repositories, archives, databases and digital infrastructures that form the basis of open science. They contribute to the integration of research results into the global scientific space. The experience of leading countries in the world demonstrates various approaches to the organization of scientific data, starting from the policy of open

access and interoperability of systems and ending with the introduction of modern standards for the preservation and dissemination of information based on the FAIR principles [1-4].

The relevance of the study is due to the need to adapt domestic information systems to international standards for scientific data management. Despite the presence of some successful examples of creating digital infrastructures in Ukraine, there are several problems, such as: data fragmentation, insufficient integration with international platforms, lack of unified metadata standards and limited analytics capabilities. And the main thing is the lack of a single national information resource such as the National Repository of Scientific Data. Such a repository could become a centralized platform for accumulating, systematizing and disseminating research results, ensuring their compliance with FAIR principles and integration into the global scientific space.

Therefore, there is a need for a systematic analysis of the best practices of scientific data management in leading countries of the world and determining the directions of their implementation in Ukraine considering FAIR principles [3, 4].

To ensure a comprehensive study of international experience in scientific data management based on information technologies, it is necessary to apply clearly defined methodological approaches. The justification of the research methodology is based on a combination of regulatory, organizational and technological aspects of scientific data management. This allows us to identify the most effective and adaptive practices for the Ukrainian scientific community.

To identify the best practices in scientific data management, an analysis was conducted using the proposed methodology. The analysis included a study of the activities of grant-giving institutions, leading organizations and key information sources (in particular, national and international repositories). This made it possible to outline the most effective approaches to scientific data management.

Leading international initiatives and platforms for scientific data management in the European Union are presented:

1. Funding programs and open data policies (define requirements for open access, DMP, FAIR, funding science): Horizon Europe, COST, ERC, UKRI, DFG, NIH, NSF.
2. Open Science Initiatives and Infrastructures (provide digital infrastructure for data and publication management.): EOSC, OpenAIRE, GO FAIR, EU Open Research Repository, Open Research Europe.
3. Preprint repositories and archival databases (platforms for pre-dissemination of research results (before peer review)): arXiv, bioRxiv, medRxiv, ChemRxiv, PsyArXiv, SSRN.
4. Publishing/commercial platforms (implement open access policies, possess their own data repositories.): Elsevier, Springer Nature, Wiley, Frontiers, Taylor & Francis.
5. Thematic/general repositories of scientific data (places for storing, sharing and long-term access to scientific data): Dataverse, Zenodo, Dryad, Figshare, PANGAEA, Biodiversity Lit. Repository.

The basic criteria for selecting best practices for managing scientific data repositories are presented in Table 1.

Table 1 – Basic criteria for selecting best practices for digital management

Criteria	The essence of the criterion
1. Systemic coherence	Consideration of normative, infrastructural and organizational components.
2. Scalability	Possibility of dissemination of practice at different levels (national, sectoral, institutional)
3. Effectiveness	Achieved effects: enhanced accessibility, data use, sharing.

Considering the basic criteria for selecting the best practices for digital management of open scientific data, as well as assessing the possibilities of their adaptation to Ukrainian conditions in order to create a National Repository of Scientific Data as a key element of Ukraine's integration into the

global scientific and information space, it is recommended to choose the international Dataverse platform, which is used and supported worldwide, as the best one (Fig. 1). [5].

The Dataverse platform is an open-source repository for storing, publishing, sharing, and citing scientific data. Its main goal is to ensure the long-term preservation, accessibility, and reproducibility of research based on scientific data. Dataverse was created and is maintained by the Institute for Quantitative Social Sciences at Harvard University [6]. The project is actively supported by an international community of developers and research institutions. It is part of the Dataverse community, which includes many institutions around the world.

The Dataverse platform implements an open data policy based on the FAIR principles and the CC0 1.0 open access condition [7], which is set by default. At the same time, the system supports a flexible licensing model that allows data authors to independently determine the terms of use.



Figure 1 – Number of Dataverse platform installations in the world

The Dataverse platform is one of the most successful and largest practices of open scientific data management in the world, adapted to the needs of different countries, institutions and industries. This is the best option for building a National Repository of Scientific Data in Ukraine because:

1. Has global recognition: the number of installations (hundreds) and the coverage of countries (dozens), which confirms that Dataverse is the de facto world standard.
2. Reliable institutional base: development and support by Harvard University ensures stability, professionalism and continuous development of the code.
3. Technical advantage (FAIR/Open Science): Dataverse is built for scientific data and provides automatic compliance with key metadata and principles necessary for international integration (for example, with the European Scientific Data Cloud - EOSC).

Currently, Ukraine does not have a single National Repository of Scientific Data under the auspices of the Ministry of Education and Science of Ukraine. There are only individual institutional repositories in leading universities and other scientific organizations, but they operate locally and do not provide the proper level of coordination and centralized management of scientific data at the national level. Therefore, the creation of a National Repository of Scientific Data based on the international Dataverse platform is the optimal solution to ensure compliance with international standards of open science, thanks to which the integration of Ukrainian research data into the global scientific space will become a place for the restoration of Ukraine's scientific potential in the post-war period.

The research was carried out within the framework of the research work "Research on international experience in scientific data management and development of methodological principles for the creation of a National Repository of Scientific Data" (2025 - 2026), state registration number 0125U001107.

References

1. Digital Science. Figshare. Springer Nature – State of Open Data 2024 (special report). URL: <https://www.digital-science.com/news/state-of-open-data-2024>.
2. Barker M., Chue Hong N.P., Katz D.S. et al. (2022). Introducing the FAIR Principles for research software. *Sci Data*. 9, 622. URL: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01710-x>
3. Drach I., Lytvynova S., Slobodyanyuk O. (2022). Dosvid realizatsiyi instytutitsynykh polityk vidkrytoyi nauky v yevropeys'kykh universytetakh. [Experience in implementing institutional policies of open science in European universities]. *Informatsiyi tekhnolohiyi i zasoby navchannya – Information technologies and learning tools*. 4 (90). 173-190. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/733609/>
4. Nikiforova L.O., Shyian A.A. (2025). Analiz mizhnarodnoho dosvidu upravlinnya naukovymy danymy na bazi informatsiynykh tekhnolohiy [Analysis of international experience in scientific data management based on information technologies] *Naukovi innovatsiyi ta peredovi tekhnolohiyi – Scientific innovations and advanced technologies*. 10 (50). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-10\(50\)-548-563](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-10(50)-548-563)
5. The Dataverse project. URL: <https://dataverse.org/>
6. Harvard Dataverse. URL: <https://dataverse.harvard.edu/>
7. CC0 1.0 Universal. Legal Code. URL: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode.en>

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШІ ДЛЯ ПОБУДОВИ НАЦІОНАЛЬНОГО ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОГО ГІДУ З ДЕРЖАВНИХ ПОСЛУГ

Піскун Андрій Михайлович, старший експерт центру компетенцій
«Цифрові послуги», piskunan@gmail.com¹

Корнєєв Михайло Юрійович, старший експерт центру компетенцій
«Цифрові послуги», kornyeyev16@gmail.com¹

Дорогий Ярослав Юрійович, доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри прикладної математики та інформатики, cisco.rna@gmail.com²
¹ e-Governance Academy (EGA)

² ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Анотація. Статтю присвячено застосуванню технологій штучного інтелекту (ШІ) для побудови національного інтероперабельного гідів з державних послуг в Україні. Розглядаються ключові AI-інструменти, такі як NLP, RAG та reasoning-технології, для семантичного пошуку, автоматизації ланцюжків послуг та інтеграції з європейськими системами SDG/OOTS. Мета – висвітлити роль ШІ у підвищенні ефективності, прозорості та людиноцентричності публічних сервісів у контексті цифрової трансформації та євроінтеграції.

Вступ. Застосування технологій ШІ у побудові національного інтероперабельного гідів з державних послуг є ключовим елементом цифрової трансформації України. Як зазначено в технічних вимогах до створення національного каталогу, ШІ інтегрується для обробки природної мови (NLP), генерації рекомендацій (RAG) та автоматизованого аналізу (reasoning), що дозволяє уніфікувати описи послуг, виключити дублювання та забезпечити семантичну сумісність з європейськими стандартами CPSV-AP, DCAT-AP та Core Vocabularies. Це особливо актуально для інтеграції з SDG та OOTS, де ШІ спрощує транскордонні процедури, знижує адміністративне навантаження та підвищує доступність для громадян і бізнесу, включаючи українців за кордоном.

Аналіз літературних джерел. Застосування ШІ для побудови інтероперабельних каталогів державних послуг є предметом досліджень у сфері цифрового врядування та інтероперабельності.

У дослідженні [1] проаналізовано потенціал генеративного ШІ в публічному секторі, включаючи поточне використання для дизайну послуг, ключові питання та політику. Автори наголошують на перевагах ШІ для персоналізованих сервісів та інтероперабельності, з рекомендаціями щодо етичного впровадження.

У роботі [2] розглянуто суверенну платформу ШІ для надання публічних послуг, з фокусом на трансформацію доставки сервісів через AI. Підкреслюється роль ШІ в забезпеченні інтероперабельності, автоматизації та підвищенні ефективності державних порталів.

У статті [3] розкрито застосування ШІ в дизайні та доставці публічних послуг, включаючи управління з використанням штучного інтелекту. Автори демонструють, як ШІ проникає в 67% країн ОЕСР для оптимізації процесів, з акцентом на інтероперабельність та етичні аспекти.

У дослідженні [4] проаналізовано побудову національної інфраструктури даних з інтероперабельністю та управлінням, включаючи роль ШІ в створенні національних обмінів даними. Наголошується на необхідності AI для високоякісних сервісів та інтеграції з AI-послугами.

Як результат, огляд літератури показує, що ШІ є потужним інструментом для інтероперабельності публічних послуг, поєднуючи технічні інновації з організаційними та етичними аспектами для підвищення ефективності державного управління.

Основна частина. Вимоги до застосування технологій ШІ в технічному плані національного інтероперабельного гіду державних послуг передбачають комплексний багаторівневий підхід, що охоплює інтелектуальні сервіси, архітектуру даних, функціональні та нефункціональні вимоги, а також інтеграцію з європейськими системами. ШІ інтегрується для автоматизації процесів, семантичної уніфікації та підвищення користувацького досвіду, базуючись на європейській таксономії послуг (life events та business events), що забезпечує гармонізований пошук та навігацію.

При модернізації Гіду проаналізовано поточний стан, де ШІ (NLP) виявив дублювання, відмінності в термінології та розбіжності в документах. На основі цього впроваджуються інтелектуальні сервіси: NLP для семантичного пошуку запитів користувачів, RAG для формування персоналізованих пояснень та рекомендацій послуг. Наприклад, для запиту "реєстрація шлюбу" ШІ згенеровано ланцюжок дій: перевірка документів (Evidence), подання заяви, отримання результату (Output), з урахуванням правових підстав (Legal Resource).

Архітектура передбачає використання reasoning-технологій (SPARQL, OWL, SHACL) для автоматизованого аналізу та планування виконання послуг, що формує ланцюжки та комплекси. ШІ інтегрується з DCAT-AP для організації каталогу як набору даних з метаданими, полегшуючи інтеграцію з SDG для транскордонних процедур. Принцип Once-Only (OOTS) підтримується ШІ для захищеного обміну даними без повторного подання, з адаптацією eIDAS та Digital Wallet для ідентифікації через Дія.Підпис чи BankID.

Функціональними вимогами до ШІ охоплено різні групи: для державних органів – автоматизоване оновлення довідників послуг та документів, валідація даних; для громадян – інтуїтивний пошук з рекомендаціями, модернізований FAQ з можливістю запитів, англійська версія та нотифікації. Гібридні моделі ШІ поєднують семантичний пошук з рекомендаційними механізмами, використовуючи Elasticsearch/OpenSearch для індексації та повнотекстового пошуку.

Нефункціональні аспекти включають формати даних (RDF, JSON-LD), інструменти валідації, технологічний стек (Python, Django для backend з ШІ-модулями) та безпеку (OWASP, RBAC для ШІ-доступу). В рамках модернізації очікуються наступні результати: інтелектуальна платформа з API для пошуку та виконання послуг, пілотування AI-сервісів, моніторинг SLO, документація та навчання. ШІ забезпечує прозорість через пояснення рішень, аналітику використання та звітність.

Описані заходи не тільки передбачають мінімізацію ризиків, але й мають підвищити довіру користувачів, сприяючи ефективній цифровій трансформації в контексті євроінтеграції України.

Висновки. Застосування технологій ІІІ для побудови національного інтероперабельного гідру державних послуг є стратегічним для України, забезпечуючи семантичну сумісність з ЄС та оптимізацію процесів. Комплексний підхід до NLP, RAG, reasoning та інтеграції з OOTS/SDG дозволить зменшити дублювання, спростити транскордонні процедури та підвищити доступність. Рекомендується продовжити пілотування з фокусом на етичні аспекти ІІІ та регулярне оновлення для повної реалізації потенціалу в цифровому врядуванні..

Список використаних джерел

1. The potential of generative AI for the public sector: current use, key questions and policy considerations. – Interoperable Europe, 2024. – URL: <https://surl.lt/snnwit>.
2. Sovereign AI Platform for Public Services Delivery. – Infosys, 2025. – URL: <https://surl.li/eabhch>.
3. AI in public service design and delivery: Governing with Artificial Intelligence. – OECD, 2025. – URL: <https://surl.li/bsjaew>.
4. Building National Data Infrastructure, Interoperability, and Governance. – Dawgen Global, 2025. – URL: <https://surl.li/poxifo>.

ОНЛАЙН МЕТОД ПОБУДОВИ РОЗПОДІЛЕНИХ УЗАГАЛЬНЕНИХ СУФІКСНИХ ДЕРЕВ

Садовий Ян Станіславович, здобувач ступеня доктора філософії,
ian.sadovyi@gmail.com¹

¹ Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

Розглянуто задачу побудови узагальнених суфіксних дерев (УСД) у розподіленому середовищі з підтримкою інкрементального оновлення даних у реальному часі. На відміну від відомих офлайн-алгоритмів, таких як ERa [6] та DGST [3], запропонований підхід забезпечує динамічне додавання нових рядків без повної реконструкції дерева. Основу методу становить модифікація алгоритму Укконена [9], адаптована для кластерної архітектури типу координатор–робочий вузол, що реалізується за допомогою Docker-контейнерів [4] на AWS ECS [1]. Модель підтримує балансування навантаження за допомогою хеш-функцій та динамічного розподілу сегментів даних між вузлами, що мінімізує комунікаційні витрати. Експериментальні результати демонструють лінійне масштабування часу побудови відносно обсягу даних і кількості вузлів, а також стабільну швидкість при оновленні індексу.

Суфіксні дерева є базовими структурами для задач точного пошуку підрядків із часової складністю $O(m)$ за довжиною запиту. УСД поширює цей принцип на множину рядків, забезпечуючи пошук у великих корпусах текстів або потоках даних. Проте класичні алгоритми побудови, зокрема Укконена [9] та МакКрейта [7], розраховані на роботу в оперативній пам'яті одного вузла. Алгоритми зовнішньої пам'яті – ERa [6] та DGST [3] – дозволяють обробляти великі дані, але залишаються офлайн-орієнтованими: при додаванні нових рядків потрібна повна перебудова структури.

Метою дослідження є створення моделі побудови розподіленого УСД, яка забезпечує інкрементальне оновлення структури без повної реконструкції та стабільну масштабованість у кластерному середовищі. На відміну від класичних офлайн-підходів, запропонований метод орієнтований на роботу в реальному часі з можливістю динамічного додавання нових рядків під час роботи системи.

Основою методу є онлайн-модифікація алгоритму Укконена, у якій процес побудови виконується паралельно на кількох вузлах кластера. Головним принципом є розподіл даних за хеш-функцією, що дозволяє кожному вузлу обробляти власну частину вхідного потоку

незалежно. Кожен рядок однозначно прив'язується до конкретного вузла на основі значення хеш-функції, що забезпечує рівномірне навантаження та спрощує масштабування системи. У разі збільшення кількості вузлів кластеру нові сегменти автоматично перерозподіляються без необхідності повної реконструкції дерева.

Хеш-розподіл забезпечує кілька ключових переваг. По-перше, він гарантує детермінований результат і стабільну продуктивність навіть при нерівномірному розподілі вхідних даних. По-друге, завдяки локальності обробки зменшуються міжвузлові комунікації, що особливо важливо для хмарних і контейнеризованих систем. По-третє, метод легко адаптується до динамічного середовища, де дані надходять потоково або змінюються в реальному часі.

Для порівняння, у попередній роботі автора [8] було досліджено розподіл за префіксами, який показав високу ефективність у випадках з відомою структурою вхідних даних. Однак у даній роботі перевага віддається хеш-орієнтованому підходу, що не потребує попереднього аналізу частот символів і краще підходить для систем із непередбачуваними або різномірними потоками даних.

Експериментальні дослідження проведено у кластерному середовищі Amazon Web Services ECS [1] із використанням восьми обчислювальних вузлів, кожен з яких мав 8 віртуальних ядер та 16 ГБ оперативної пам'яті. Система розгорнута в контейнерах Docker з централізованою координацією через сервіс Consul [2].

Для тестування використано набір DNS-імен [5] загальним обсягом 100 Mchar (10^8 символів). Такий обсяг даних дозволяє оцінити ефективність моделі у сценаріях, наближених до реальних потоків аналітичних систем. Порівняння виконано між двома конфігураціями: одновузловою реалізацією алгоритму та розподіленою реалізацією з хеш-орієнтованим розподілом даних між вузлами.

Для оцінювання використано чотири ключові метрики: загальний час побудови, пропускна здатність, середнє використання пам'яті вузла та прискорення.

Результати наведено в таб. 1.

Таблиця 1 – Порівняння метрик ефективності при обсязі даних 100 Mchar DNS-імен

Метрика	1 вузол	8 вузлів (хеш-розподіл)
Загальний час побудови, мс	83 780	13 472
Пропускна здатність, символів/с	1 193 602	7 422 802
Середнє використання пам'яті вузла, МБ	5 966	1 213
Прискорення	1,00	6,22

Отримані результати демонструють, що розподілена реалізація з хеш-орієнтованою сегментацією досягає прискорення у 6,2 рази порівняно з базовою одновузловою системою. Загальний час побудови дерева скоротився з 83,8 с до 13,5 с, а пропускна здатність зросла з 1,19 млн до 7,42 млн символів за секунду. Середнє споживання пам'яті на вузол зменшилось більш ніж у п'ять разів, що свідчить про ефективність балансування навантаження при хеш-розподілі.

Таким чином, запропонований онлайн-метод побудови розподілених узагальнених суфіксних дерев забезпечує високу швидкодію, мінімальні витрати пам'яті та майже лінійну масштабованість при обробці великих текстових потоків. Модель забезпечує інкрементальне оновлення без повної реконструкції, лінійне масштабування з обсягом даних і кількістю вузлів, а також зменшення міжвузлових комунікацій завдяки розподілу за частотами префіксів. Результати підтверджують придатність моделі для аналітичних платформ оброблення логів, моніторингу мережевого трафіку й пошуку у великих корпусах текстів.

Список використаних джерел

1. Amazon Elastic Container Service Documentation. Amazon – URL: <https://docs.aws.amazon.com/ecs/> (дата зверн. 27.10.2025).

2. Consul. HashiCorp Developer. – URL: <https://developer.hashicorp.com/consul/docs> (дата зверн. 30.10.2025).
3. DGST: Efficient and scalable suffix tree construction on distributed data-parallel platforms / G. Zhu [та ін.] // Parallel Computing. – 2019. – Вип. – Т. 87. – С. 87–102. – ISSN 01678191. – DOI: 10.1016/j.parco.2019.06.002. – URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167819119301255> (дата зверн. 11.08.2025).
4. Docker Docs. – URL: <https://docs.docker.com/> (дата зверн. 27.10.2025).
5. Domains Project: Processing petabytes of data. – URL: <https://domainsproject.org/> (дата зверн. 27.10.2025).
6. ERA: Efficient serial and parallel suffix tree construction for very long strings / E. Mansour [та ін.] // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 49–60. DOI: 10.14778/2047485.2047490. – URL: <https://arxiv.org/abs/1109.6884> (дата зверн. 11.08.2025).
7. McCreight E. M. A Space-Economical Suffix Tree Construction Algorithm // Journal of the ACM. – 1976. – Квіт. – Т. 23, № 2. – С. 262–272. – ISSN 0004-5411, 1557-735X. – DOI: 10.1145/321941.321946. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/321941.321946> (дата зверн. 11.08.2025).
8. Sadovyi I., Vorotnikov V. The Study of Optimization of the Segmentation Process for Building Distributed Generalized Suffix Trees // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2025. – Т. 103, № 9. – URL: <https://jaitit.org/volumes/Vol103No9/5Vol103No9.pdf> (дата зверн. 16.08.2025).
9. Ukkonen E. On-line construction of suffix trees // Algorithmica. – 1995. – Вип. – Т. 14, № 3. – С. 249–260. – ISSN 0178-4617, 1432-0541. – DOI: 10.1007/BF01206331. – URL: <http://link.springer.com/10.1007/BF01206331> (дата зверн. 11.08.2025).

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИБУТКОВОСТІ РИНКІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Сергієнко Анастасія Валентинівна, канд. техн. наук, доцент, зав.кафедри кафедри інформатики, sergienko_a_v@pstu.edu¹.

Тузенко Ольга Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, tuzenkooa@gmail.com²,
Калашніков Сергій Юрійович, студент групи BT-24-M, stalker2002c@gmail.com¹,

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

² Infinity - Bildung, Integration, Kultur; Austria

У сучасних умовах волатильності ринку металопродукції питання точного прогнозування її прибутковості набуває стратегічного значення для металургійних підприємств. Галузь функціонує під впливом численних зовнішніх і внутрішніх чинників – від цін на енергоносії та сировину до логістичних обмежень, коливань валютних курсів і попиту на світових ринках. Традиційні економіко-математичні методи аналізу, що базуються на лінійних припущеннях, часто виявляються недостатніми для врахування складних нелінійних залежностей між економічними показниками. У зв'язку з цим усе більшого значення набуває інтеграція таких підходів із технологіями машинного навчання, які дозволяють підвищити точність прогнозів за рахунок виявлення прихованих закономірностей у великих обсягах даних.

Метою дослідження є розробка інтелектуальної системи для аналітичної обробки ринкових даних і побудови прогнозів прибутковості металопродукції з використанням поєднання економіко-математичних методів і алгоритмів машинного навчання. Об'єктом дослідження виступає прибутковість ринків металопродукції, предметом – методи моделювання та прогнозування її зміни в умовах динамічного середовища.

Розроблений вебдодаток реалізовано мовою Python із використанням бібліотек pandas, scikit-learn, Prophet, statsmodels, matplotlib. Його архітектура складається з трьох функціональних модулів:

- модуль збору та імпорту даних із внутрішніх (виробничих) і зовнішніх (ринкових, валютних, біржових) джерел;
- модуль статистичної обробки та попереднього аналізу часових рядів;

– модуль побудови прогнозів і візуалізації результатів у вигляді графіків та інтерактивних звітів.

Особливу увагу приділено якості даних, адже саме вона визначає достовірність моделі. У процесі аналізу було виявлено, що точність прогнозів істотно знижується за наявності шумів, пропусків, неузгоджених одиниць вимірювання або надлишкової кореляції між змінними. Тому система передбачає етапи очищення, нормалізації та агрегації даних. Було розроблено алгоритм автоматичної перевірки на повноту та коректність записів, що дозволяє відхиляти або відновлювати спотворені спостереження за допомогою статистичних методів інтерполяції та ковзного середнього.

Для опису взаємозв'язків між факторами рентабельності застосовано економіко-математичні моделі, серед яких: регресійна модель прибутковості, що оцінює вплив обсягу виробництва, ціни реалізації та витрат на сировину; індексна модель рентабельності, що дозволяє визначити внесок кожного чинника в зміну прибутку; оптимізаційна модель для визначення максимальної маржі за обмежень на ресурси та логістику.

На основі цих моделей побудовано систему порівняльного прогнозування із залученням методів машинного навчання – Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, Prophet, LSTM. Кожен алгоритм навчався на різних обсягах даних, що дозволило оцінити вплив розміру вибірки та глибини історичних даних на точність прогнозу. Для оцінювання точності застосовано метрики MAE, RMSE, MAPE, R^2 , які відображають середню абсолютну, квадратичну та відносну похибку.

Дослідження показало, що за високої якості даних (повнота понад 95%, відсутність значних прогалин і кореляційних спотворень) похибка прогнозу для моделей Random Forest і Prophet не перевищувала 6–8%, тоді як при часткових пропусках і агрегованих даних похибка збільшувалася майже вдвічі. Це свідчить про те, що якість вхідних даних є не менш важливим чинником, ніж вибір алгоритму. Недостатня репрезентативність історичних рядів, різниця у форматах подання чи невідповідність часових зон безпосередньо знижують здатність моделей адекватно навчатися, що підтверджує необхідність суворої процедури перевірки даних перед моделюванням.

Додатковим напрямом розвитку системи є реалізація модулів для автоматичної оцінки якості даних і побудови карт надійності прогнозів. Це дає змогу візуально оцінювати рівень довіри до результатів у різних часових інтервалах і виявляти періоди, у яких вхідні дані мають підвищену похибку чи неповноту.

У подальшому планується інтеграція інструментів моніторингу джерел даних та адаптивного перенавчання моделей у разі зміни зовнішніх умов або появи нових факторів впливу.

Практична цінність розробленого додатку полягає у можливості його інтеграції в аналітичні системи металургійних компаній, що дозволяє автоматизувати процеси формування прогнозів, сценарного аналізу й планування виробництва. Система може бути використана як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень, що базуються на кількісних показниках і перевірених прогнозних моделях. Вона забезпечує підвищення ефективності планування, зменшення ризиків і більш обґрунтований розподіл ресурсів у виробничих і збутових ланцюгах.

Інтерфейс системи надає користувачу можливість обирати показники для аналізу – ціни, обсяг виробництва, прибуток, ринок (внутрішній та зарубіжний) – та період прогнозу. Отримані результати можуть бути представлені у вигляді динамічних графіків, таблиць кореляцій і рекомендацій щодо оптимізації виробничо-збутової політики. У звітах формується також оцінка довіри до прогнозу, що залежить від кількості валідних даних у вибірці.

Порівняння різних моделей показало, що класичні економіко-математичні методи краще описують загальні закономірності ринку, тоді як ML-алгоритми дають змогу враховувати локальні аномалії, швидко адаптуватися до нових трендів і зменшувати похибку прогнозу. Комбінація обох підходів забезпечує стійкість результатів навіть за умов неповноти даних.

Запропонована система прогнозування може бути інтегрована у корпоративні аналітичні платформи металургійних підприємств для автоматичного оновлення ринкових показників і оперативного реагування на зміни кон'юнктури.

У практичному аспекті це дає змогу керівникам приймати рішення щодо планування виробництва, ціноутворення та розподілу ресурсів на основі об'єктивних прогнозних даних, а не інтуїтивних оцінок.

Отже, прогнозування прибутковості ринків металопродукції із застосуванням економіко-математичних моделей, як класичних так і ML-моделей, демонструє високу ефективність за умов наявності якісної інформаційної бази. Поєднання алгоритмічної точності з математичною логікою створює нові можливості для управління металургійними процесами, мінімізує ризики і формує стійкі стратегії розвитку галузі в умовах нестабільного глобального середовища.

ЦИФРОВА МЕДИЦИНА

Сиворка Владислав Анатолійович, студент гр. РПЗ-24-01,
sivorka2@gmail.com¹

Тарнавська Ірина Олександрівна, викладач першої категорії циклової комісії
«Програмна інженерія», iri.tarnavska@gmail.com¹

¹ ВСП «Маріупольський машинобудівний фаховий коледж ДВНЗ «ПДТУ»

У даний час фактично в усі галузі охорони здоров'я впроваджені інформаційні технології (ІТ). Завдяки цьому медицина набула абсолютно нових рис.

Цей процес супроводжується суттєвими змінами в медичній теорії та практиці, пов'язаними з внесенням коректив до підготовки медичних працівників. ІТ-технології допомагають лікарю проводити об'єктивну діагностику захворювань, накопичувати й ефективно використовувати отриману інформацію на всіх стадіях лікувального процесу і, що найважливіше для медичної науки, є неocenними у науковому пізнанні [1].

Розглянемо основні напрями застосування сучасних інформаційних технологій:

- віртуальна реальність;
- медичні трекери, натільні носії та сенсори;
- роботи;
- 3D-друк;
- телемедицина.

Віртуальна реальність (VR) змінює життя пацієнтів і медиків. Наразі VR активно використовується для підготовки майбутніх хірургів.

Нещодавно в Каліфорнійському університеті було проведено дослідження [2]. Воно показало, що підготовлені за допомогою VR лікарі показали значне підвищення загальної обізнаності та ефективності порівняно з традиційно підготовленими колегами.

Також ця технологія знайшла своє застосування у психотерапії, де вона приносить полегшення у боротьбі з болем. Пацієнти оснащуються VR-гарнітурами для візуалізації заспокійливих пейзажів у поєднанні з музикою, що допомагає відвернути їхню увагу від подразників. Дослідження 2019 року (Британія) показало, що пацієнти, для яких використовували VR, набагато легше перенесли оперативне втручання, відзначали зменшення больових відчуттів та загальної тривоги.

Майбутнє медицини та охорони здоров'я тісно пов'язане з розширенням можливостей пацієнтів моніторити свій фізичний та емоційний стан за допомогою сучасних хай-тек носіїв та трекерів (фітнес-браслети, смарт-телефони, натільні сенсори).

Перераховані пристрої надають змогу дізнатися більше про себе та повернути контроль над власним здоров'ям. Окрім цього, гаджети дозволяють ділитися результатами зі своїм

лікарем, який має змогу приймати більш обґрунтовані рішення відносно профілактики виникнення чи лікування присутнього захворювання.

Роботи-манекени, роботи-кур'єри, роботи-санітари – це вже реальність. З'явилася велика кількість роботів, які виконують надзвичайно складні маніпуляції.

Хірургічний робот Da Vinci (США) дозволяє через невеликі отвори в шкірі виконувати найскладніші операції на внутрішніх органах. Чутливі маніпулятори точно відтворюють рухи рук хірурга, який сидить за пультом, при цьому фільтруючи тремтіння або випадкові різкі рухи.

Медичною сенсацією є Robotic Glove для реабілітації пальців рук. Це рукавичка, оснащена датчиками, які можуть виявити вібрації, звук і температуру, вона має акселерометр і звукову систему, яка сигналізує про органи, що вимагають негайної уваги. Рукавичка збирає і передає всю інформацію на комп'ютер.

Медичний робот AMIGO з'явився в 2010 році у Великобританії. Основна спеціалізація робота – операції по лікуванню аритмії серця. Він допомагає вводити через артерію катетер до пошкоджених ділянок серцевого м'яза.

В Україні роботизовану систему Da Vinci використовує лише декілька медичних закладів. До прикладу: Medical Plaza Дніпро та лікарня Святого Пантелеймона Львова.

3D-друк стали безцінним відкриттям у всіх аспектах медицини та охорони здоров'я. Розроблені методики дозволяють друкувати біотканини, штучні кінцівки, таблетки, кровоносні судини, і цей список збільшується [3].

В Україні використання тривимірного друку актуальне у будь-якому напрямі хірургії та стоматології. Можна розробляти макети не тільки окремих кісток, але і цілих органів. Популярна також розробка імплантатів, протезів, ортопедичних устілок.

Також набирає популярності телемедицина – дистанційне надання медичних послуг, коли пацієнт і лікар розділені великою відстанню, при цьому зовсім не страждає якість послуг [4]. Власне, консультації через відеозв'язок вже давно мали місце, однак їх ефект був досить обмежений. Справа в тому, що для лікаря дуже важливе значення має огляд пацієнта. Крім результатів аналізів він повинен бачити колір шкіри і очей, аномальні прояви на поверхні тіла. До недавнього часу для цієї мети використовувалися фотографії, однак вони не могли передати всі характеристики. Симптоматика шкірних захворювань присутній в 90% інших хвороб, тому це дуже важлива стадія діагностування. Але сьогодні з'явилося безліч інтелектуальних скануючих програм, які використовують технології розпізнавання зображень. І ці технології іноді розпізнають шкірні захворювання, такі як екзема, псоріаз, дерматит та інше краще, ніж людське око фахівця.

Поряд з перерахованими технологіями, все активніше в західній медицині використовуються алгоритми штучного інтелекту. Поєднання обчислювальних технологій обробки великих даних зі ШІ вже зараз має застосування в таких практичних областях, як діагностика, розробка лікарських препаратів, оптимізація робочих процесів. І це лише верхівка айсбергу під назвою цифрова медицина.

Список використаних джерел

1. Ебель В. К. Нові комп'ютерні технології в медицині / В. К. Ебель. Київ: Телемедицина, 2018. – С. 63.
2. С. Гатчінсон. Гарнітури віртуальної реальності розслаблюють пацієнтів під час операцій у лікарні Святого Георгія [Електронний ресурс] / Гатчінсон С. // <https://stgeorgeshospitalcharity.org.uk>. – Режим доступу: <https://www.stgeorges.nhs.uk/newsitem/vr-headsets-relaxing-patients-during-surgery-at-st-georges/> (11.11.2025).
3. Нові технології в медицині: загальний огляд [Електронний ресурс] / <https://medstar.ua>. – Режим доступу: <https://medstar.ua/novi-tehnologii-v-medicini-zagalnij/> (09.11.2025).
4. Кузякін Р. П'ять технологій, які модернізують та покращують медицину [Електронний ресурс] / Р. Кузякін // <https://ingeniusua.org>. – Режим доступу: <https://ingeniusua.org/articles/5-tekhnologiy-yaki-modernizuyut-ta-pokraschuyut-medicinu> (10.11.2025).

ПІДВИЩЕННЯ КОРЕКТНОСТІ ТА ШВИДКОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТИПОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ШГРП ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ 3D-ЗБІРОК НА ОСНОВІ ФОРМАЛІЗОВАНИХ ІНЖЕНЕРНИХ ЗНАНЬ

Товарчі Ігор Сергійович, студент групи ПЗ-25/11 (МР), tovarchiigor@gmail.com¹
Кейда Світлана Іванівна, викладачка інформатики, учителька вищої кваліфікаційної
категорії, учитель-методист, keydasvetlana72@gmail.com¹

¹ ВСП «Маріупольський політехнічний фаховий коледж ДВНЗ «ПДТУ»

В умовах повномасштабної агресії та на тлі нагальної необхідності швидкого відновлення критичної інфраструктури України, зокрема, газорозподільчих мереж та об'єктів газорегуляторних пунктів (ГРП), питання швидкості та безпомилковості проєктування набуває стратегічного значення. Об'єкти газопостачання нажаліть теж зазнають пошкоджень, що вимагає негайного проєктування та виготовлення нових або ідентичних вузлів і шафних ГРП для забезпечення життєдіяльності населених пунктів, та функціонування підприємств, які частково переходять на когенераційні установки у якості резервного варіанту живлення і опалювання.

Попит на швидке виробництво, швидкі опрацювання замовлень у поточний час стає вищим, однак при таких швидких темпах не можна припускати помилок.

Враховуючи, що проєктування виробів знаходиться у початку життєвого циклу продукту, помилки які можуть виникнути на цій стадії, будуть мати найбільшу собівартість для підприємства-виробника. Найбільший ризик помилок виникає коли переглядається чимало типових збірок які відрізняються між собою певною комплектацією чи функціонально повинні бути «дзеркальним» відображенням прототипу з якого їх запозичають.

З огляду на це, метою даної роботи є дослідження та пропозиція методів суттєвого пришвидшення та гарантування коректності процесів проєктування типових конструкцій, зокрема, шафних газорегуляторних пунктів, шляхом впровадження автоматизації створення 3D-збірок.

Як одним з варіантів підвищення ефективності є автоматизована генерація 3D-збірок з існуючих 3D-моделей компонентів, коли після заповнення форми CAD-система робить файл збірки з яким можливе подальше опрацювання (аналіз вартості, створення креслеників, специфікацій, оцінка витрат допоміжних матеріалів та інше). Найкраще такому вирішенню піддаються типові конструкції, та вироби які створюються з врахуванням виробничих чи галузевих вимог по монтажу.

Використання знаннєво-орієнтованого інженерного підходу (Knowledge-Based Engineering, KBE) вкладається у логіку програмного забезпечення, коли після заповнення вхідної форми (яка є, по суті, конфігуратором продукту), CAD-система не просто збирає, а застосовує заздалегідь визначені інженерні правила та залежності. Це гарантує коректність взаємодії компонентів, знижуючи вплив людського фактору, і суттєво пришвидшує процес проєктування [1].

Переходячи до прикладного використання пропонується реалізувати підхід КВЕ при створенні 3D збірок шафних газорегуляторних пунктів. Приклади проведення трубних об'язок обладнання цих пунктів показано на рис.1.

Досвідчені користувачі різних CAD-систем побачать що самі установки створені з не дуже великої кількості деталей і умов по суто розташуванню компонентів тут не так багато, також видно що фланцевих з'єднань у багатьох випадках виконання одна й та сама або дуже близька, кількість вхідних компонентів також і в цілому технічно, з боку виконання моделювання це не надто важкий об'єкт.

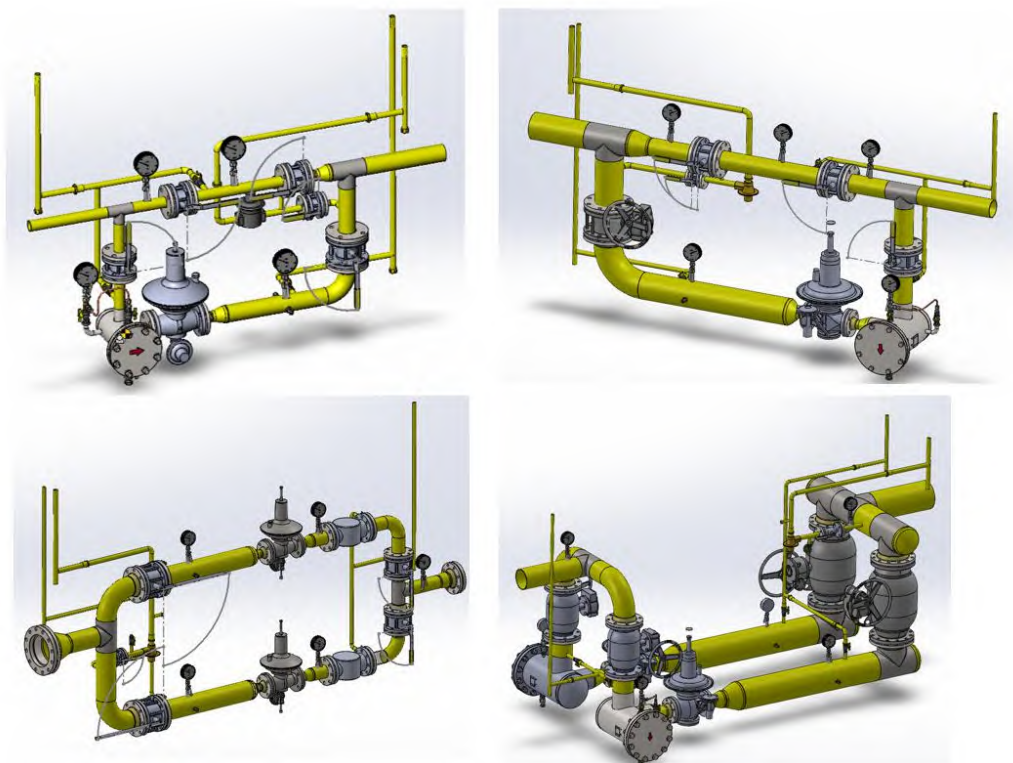


Рисунок 1 – Типові варіанти розташування компонентів газорегуляторних установок у шафних пунктах

Більш досвідчені користувачі згадують про те що більшість CAD-систем мають можливість створення виконань деталей та конфігурацій збірки за допомогою таблиць параметрів та рівнянь, щоправда їх швидке застосування не завжди зручне, і при зміні певних параметрів деякі рівняння можуть протирічити одне одному. Основна важкість стає тоді, коли таких збірок треба зробити 4-5 у день і є прототип схожої збірки але певні компоненти потрібно змінити, наприклад напрямок потоку газу (це напряму впливає на розташування елементів) та умовний діаметр приєднувальних фланців регулятора призводить до того що кількість переходів перед прямою ділянкою потрібна пара а не один, а загальну висоту збірки потрібно збільшити або зменшити бо корпус регулятора має інші габаритні розміри.

У ряді CAD-систем середнього та вищого рівня є модулі на кшталт Welder та Routing, що певною мірою спрощують процес створення моделей трубопроводів так як дозволяють створювати складні форми трубопроводів та їх з'єднань але при роботі з ними як правило простіше створити нову збірку ніж виправити вже існуючу. У повній мірі задачу, ще й за малу кількість дій користувача використання такого модулю не вирішує, не зайвим буде згадати і про вартість ліцензії на користування такими програмними продуктами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Аналіз топології та стандартизація компонентів: провести системний аналіз наявної номенклатури та конструктивних особливостей шафних газорегуляторних пунктів (ШГРП). Визначити типові компоненти, та вузли, що найчастіше використовуються під час проєктного виробництва, з урахуванням галузевих вимог, стандартів виготовлення та паспортів обладнання.

2. Формалізація інженерних знань (Knowledge-Based Engineering, KBE): потрібно визначити ключові конструктивні та інженерні правила (мінімальні відстані між компонентами, обмеження по висоті монтажу певних вузлів, послідовність та можливість монтажу, певні елементи ергономіки) для ШГРП.

3. Обрати CAD-систему під середовище для якого буде розроблятися конфігуратор, та створити у ній базу параметричних 3D-моделей для всіх типових компонентів ГРП (регулятори, клапани, фільтри, прилади, елементи трубопроводів).

4. Перетворити правила, вимоги монтажу та залежності на формалізовані алгоритми для використання в CAD-системі.

5. Розробка параметричної моделі та конфігуратора: розробити вхідну форму-конфігуратор (інтерфейс), яка дозволить проєктувальнику швидко вводити ключові параметри та вимоги до ШГРП (наприклад, типова схема розташування, напрям потоку газу, моделі кранів і регуляторів, діаметри вхідних та вихідних патрубків, діаметри та довжини прямої ділянки трубопроводу після регулятора).

6. Автоматизація генерації 3D-збірок: реалізувати логіку, за якої CAD-система, після отримання вхідних даних з конфігуратора, автоматично генерує фінальну 3D-збірку ШГРП, застосовуючи вбудовані КВЕ-правила для коректного розташування компонентів та трубних обов'язок.

Висновки:

1. В контексті відновлення газорозподільчих мереж України у воєнний та повоєнний час, традиційна методика ручного проєктування є бар'єром для швидкого та якісного відновлення критичної інфраструктури, під час якого критичне скорочення термінів проєктування стає не просто економічною, а і стратегічною вимогою.

2. Запропонований підхід, що базується на знаннєво-орієнтованому інженерному підході (КВЕ), є найбільш доцільною методологією для вирішення окресленої проблеми. КВЕ дозволяє перейти від креслення до конфігурування.

3. Впровадження автоматизованої генерації 3D-збірок шафних газорегуляторних пунктів (ШГРП) забезпечує дві основні переваги:

- вбудовані інженерні правила мінімізують ризик помилок та гарантують відповідність конструкції галузевим вимогам, що є життєво важливим для об'єктів підвищеної небезпеки, таких як ГРП.

- зменшення трудомісткості: Замість днів ручного креслення та узгоджень, проєктна документація може бути згенерована за години, що безпосередньо впливає на швидкість прийняття проєктних рішень, та як результат введення в експлуатацію відновлених об'єктів.

4. Окреслена задача автоматизації є лише початком. Наступні етапи роботи мають включати розробку КВЕ-конфігуратора та його пілотне впровадження у виробничий цикл. Успішна реалізація цього проєкту відкриє шлях до цифрової трансформації проєктування інших типових вузлів не тільки газорозподільчої галузі, забезпечуючи тим самим стійкість та ефективність підприємств у післявоєнний період.

Список використаних джерел

1. Switlik, John (October–November 2005). "[Knowledge Based Engineering \(KBE\): Update](https://www.coe.org/coe/en/abstracts/abstract/1982)". coe.org. COE. - Archived from the original on March 24, 2012. Retrieved 6 July 2014

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИК ПРОГРАМУВАННЯ СУЧАСНИХ ДРОНІВ

Чайка Олег Ярославович, студент гр. KI-21-28 ¹

Гайша Олександр Олександрович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерних технологій, oleksandrgaysha1982@gmail.com ¹

¹ ПВНЗ «Міжнародний класичний університет імені Пилипа Орлика», м. Миколаїв

На основі власного практичного досвіду першого автора можна стверджувати, що на сьогоднішній день особливостей програмування дронів в цілому можна виділити надзвичайно багато. Існує значна кількість програм для налаштування та управління дронами, а також чималою є і кількість різновидів самих дронів (причому як по компанії-виробнику, так і по типу конструкції). Слід відмітити, що для кожного варіанту слід використовувати свої підходи-методики, присутні особливості як в керуванні, в відео, так і у прошивках, налаштуваннях і захисних системах.

Найпоширенішим на сьогодні типом є дрони, що надають оператору картинку від першої особи (англ. FPV-дрони, First Person View), тому розглянемо особливості саме їх програмування.

Є декілька програм, що активно використовуються для даного напрямку:

- «Betaflight» - один з основних програмних продуктів для вказаних цілей;
- «ESC configuration» - в основному використовується для прошивання польотного контролера;
- «ERLS configuration»;
- «INAV Configurator», тощо.

В «Betaflight» наявний конфігуратор, який під'єднується до дрона за допомогою USB, після чого виконуються наступні дії: налаштування PID для регулювання обертів моторів, що сильно впливатиме на саме керування; налаштування всіх відео каналів; налаштування перемикачів потужності передавача відео (VTX або vtx, Video Transmitter, відео трансмітер). Також в «Betaflight» є налаштування і програмування як сервоприводів для камери, для плат ініціації, для скидів, для будь-яких рухомих елементів дрону. Важливим аспектом конфігурації, що дозволяє уникнути самопідриву при перевертанні дрону, є коректне налаштування напрямку обертання моторів. Особливо актуальним це питання є в умовах використання широкого різноманіття моделей дронів та, відповідно, моторів і плат управління ними. Також програма «Betaflight» дозволяє налаштовувати світлові діоди на дроні - їхні кольори, послідовність спрацьовування, тощо (у великій мірі це актуально для цивільних дронів розважального характеру, що беруть участь у т.зв. «шоу дронів», але може використовуватися і в інших галузях застосування).

Командний рядок «Betaflight» дозволяє використовувати велике різноманіття команд. Наприклад, при підключеному дроні подача команди dump дозволяє дізнатися усі його налаштування, а команда vtx покаже як запрограмований саме відеопередавач.

Також в «Betaflight» можна налаштувати OSD-меню на дроні: де саме воно буде знаходитись, відображувані цифри, значення, показники дрона (ім'я дрона, або його серійний номер, рівень заряду батареї, або просто стрічку горизонту, рівень передачі керування, який саме використовується канал і т. д.).

Інший програмний продукт «ESC configuration» також має багато функцій, в тому числі й таких, яких немає у «Betaflight». Сюди можна віднести, наприклад, налаштування звука моторами, при ввімкненні дрона. Звук при цьому створюється не динаміками, а йде від самих моторів (їх електромагнітної складової), що обертаються. Відповідно, при завданні відповідного набору команд можна запрограмувати «виконання» дроном довільної мелодії: дрон дає напругу на мотори відповідно до заданих команд і видає необхідний звук за рахунок мікрообертів моторів. Очевидно, дана можливість так само як і керування світло діодами у більшій мірі відноситься до розважальної галузі, однак в деяких випадках може мати й пряме практичне використання.

Ще один програмний продукт «ERLS configuration» в основному потрібен для налаштування керування, тобто підключення дрона до пульта, адже там програмується його bin-фраза (яка виступає захистом, що унеможливорює підключення сторонніх осіб до керування дроном). Кожна літера у фразі (код доступу для під'єднання) має свій номер, і відповідно кодова фраза програмується в цифрову форму, що й слугує захисним кодом.

Також підлягає програмуванню все, що зв'язане з під'єднанням (біндом) до дрона (підключенням по радіоканалу) пульта керування. Наприклад, щоб з одного і того самого передавача відбувалося керування польотом тільки одного дрону, а інші знаходилися в режимі очікування до моменту подачі відповідної команди прив'язування до нього (за професійною термінологією - забіндження). Також за допомогою цього конфігуратора передаються та встановлюються прошивки для цього ж керування і бінда.

Звісно для успішного програмування дрону слід враховувати численні практичні аспекти, зокрема, забезпечувати правильне фізичне під'єднання усіх необхідних електронних компонентів (наприклад, шляхом припаювання), підключення периферії через відповідні слоти,

пересилання прошивок, які повністю сумісні саме з тією платою, до якої підключений пристрій (це антенні передавачі як vtx, приймачі як RX (керування), камери, антени, плати, мотори і т.п.).

Далі слід відмітити, що FPV-дрони дуже часто працюють на аналоговому відеозв'язку, тому програмування у них індивідуальне для кожної моделі. Як відомо, аналоговий сигнал значно менш стійкий до злому і може порівняно легко перехоплюватися іншими особами (тому картинка з камери дрону майже не є захищеною, що є дуже негативним фактором при військовому використанні дрону, адже супротивник може бачити, де саме летить дрон). При цьому аналогові сигнали допускають значно більшу відстань для успішної передачі відносно якісної картинки відеосигналу. Незважаючи на відкритість аналогового відеозв'язку, управління ведеться командами, що передаються по іншому, цифровому каналу, який навпаки добре захищений.

Дрони, які використовують цифровий відеозв'язок (наприклад, від компанії DJI, Autel Robotics, рішення відомі під назвами кажанів, вампірів, а також баба-яга), очевидно, мають більш високий ступінь захисту відеосигналу, що досягається за рахунок його шифрування, яке порівняно легко можна застосувати до сигналу у цифровій формі. Відповідно, в такому випадку супротивник не може бачити, де саме знаходиться дрон в даний момент часу. Але цифрова форма сигналу забезпечує відчутно менші відстані передачі, а крім того, це потребує застосування інших прийомів програмування (конфігурування) та має деякі інші особливості. Слід відмітити, що цифровий відеозв'язок забезпечує в цілому кращу якість картинки, що передається, у порівнянні з аналоговими варіантами. Такі цифрові дрони зазвичай для свого програмування вимагають використання власних спеціалізованих програм, як, наприклад, DJI Fly, Tello app, Autel Sky, Autel configuration, тощо.

У якості висновку можна сказати, що особливостей програмування, методів, які при цьому застосовуються, програм для спілкування з електронікою дрона, конфігураторів на сьогоднішній день існує дуже багато для усіх типів дронів, що активно застосовуються як в цивільних, так і у військових задачах. Вибір конкретних варіантів для вказаних пунктів залежить як від доступності наявного апаратного забезпечення (власне самого дрону та наявної супровідної техніки), так і від функціональних задач, що ставляться в рамках виконання конкретного завдання, що має вирішити дрон.

Список використаних джерел

1. Mottola, L., Moretta, M., Whitehouse, K., & Ghezzi, C. (2014). *Team-level programming of drone sensor networks*. In Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '14) (pp. 177–190).
2. Dinh, H. T., Cruz Torres, M. H., & Holvoet, T. (2018). *Sound and complete reactive UAV behavior using constraint programming*. In ICAPS Workshop on Planning and Robotics (pp. 143–151). ICAPS Workshop on Planning & Robotics.

ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ПАРАМЕТРАМИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ ДЛЯ ВИПАЛУ ШАМОТНОЇ ЦЕГЛИ

Чапля Віктор Валерійович, студент групи МА-24-М, chaplia_v_v@students.pstu.edu¹

Черевко Олена Олександрівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, cherevkoea89@gmail.com,¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Для отримання шамотних виробів високої якості, процес їх випалу повинен відбуватися з суворим дотриманням температурного режиму, часу перебування в печі та інших важливих факторів. Забезпечення відповідності цих параметрів заданим значенням є критично важливим для досягнення конкурентоздатності продукції.

На рисунку 1 показано технологічну схему виробництва шамотних виробів. Процес нагрівання (випалу) шамотних виробів у тунельній печі поділяється на три етапи, що відповідають певним температурним діапазнам: підготовка, безпосередньо випал та охолодження. Кожен з цих етапів характеризується специфічними фізико-хімічними змінами, що відбуваються в структурі шамотних виробів. Важливо чітко дотримуватися заданих значень температури та тривалості нагріву на кожній ділянці печі, оскільки від цього залежить кінцева якість продукції.

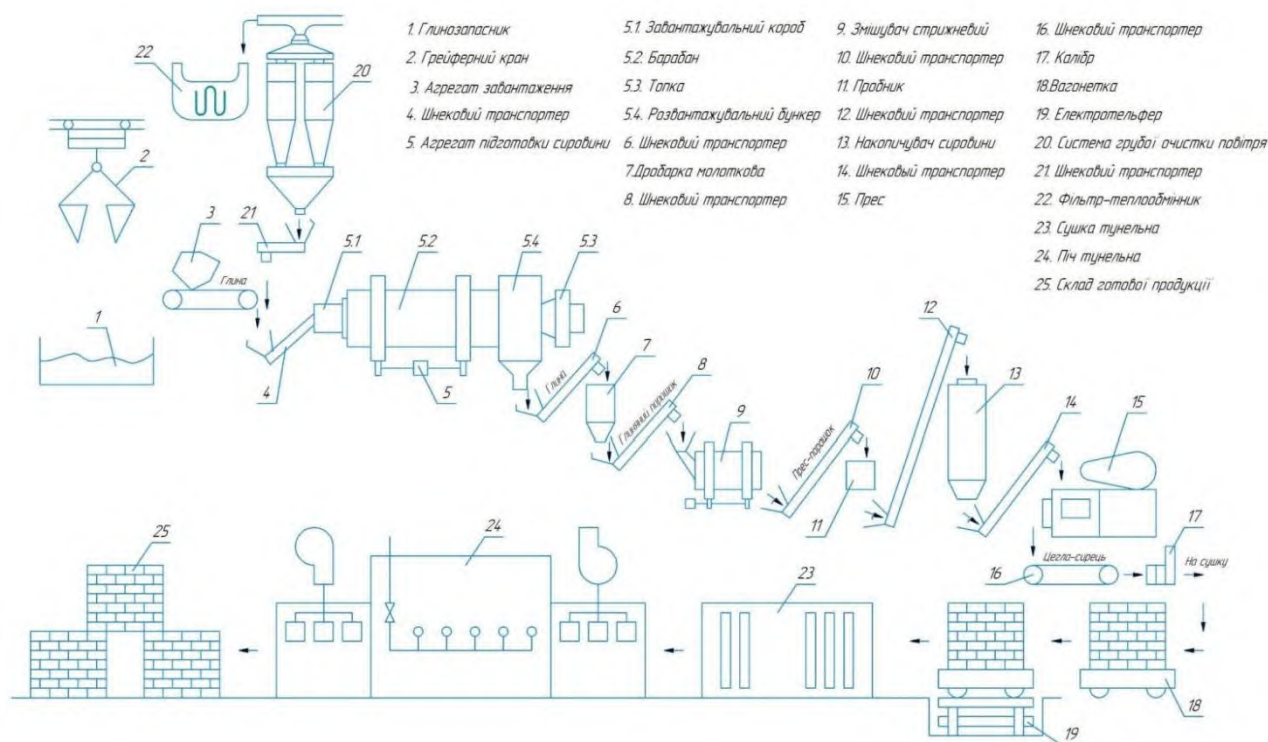


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва шамотної цегли

Для зручності контролю основних показників роботи тунельної печі розроблено графічний інтерфейс оператора, який є частиною SCADA-системи управління технологічним процесом виробництва шамотних виробів. Інтерфейс створено у середовищі Genie 3.0.

Відповідно до технологічних вимог та результатів аналізу об'єкта автоматизації, а також дослідження температурних режимів, розроблено програмне забезпечення (рис. 2) для збору та відображення актуальної інформації на екрані оператора (рис. 3). Результати математичного моделювання використовуються у програмі як еталонні значення, що дозволяє перевіряти відповідність поточних даних, отриманих з датчиків, технічному завданню на випал шамотних виробів.

Під час нормальної роботи тунельної печі на екрані відображається кількість вагонів з обпаленою продукцією, а також графіки поточної температури в ключових точках зон підігріву та випалу. Поки триває процес нагрівання в зоні випалу, на екрані відображається повідомлення «Низька температура!». Після досягнення потрібної температури напис змінюється на «Норма». У випадку перевищення допустимого значення температури напис змінюється на «Висока температура!» та починає миготіти.

Автоматизація контролю та регулювання параметрів процесу випалу шамотних виробів сприяє економії ресурсів, зокрема енергії та сировини, що позитивно впливає на загальні витрати підприємства та підвищує його конкурентоспроможність.

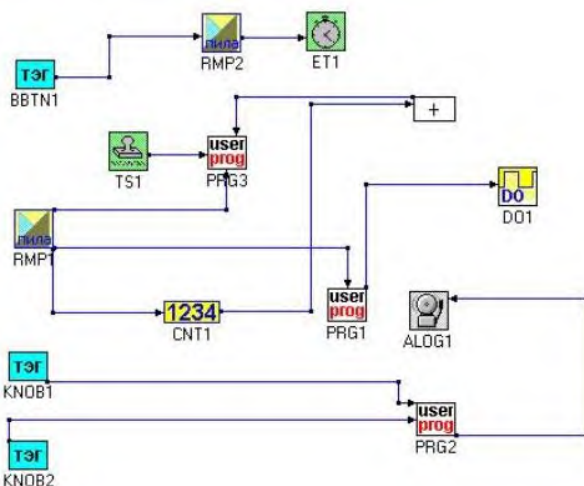


Рисунок 2 – Програма управління тунельною піччю

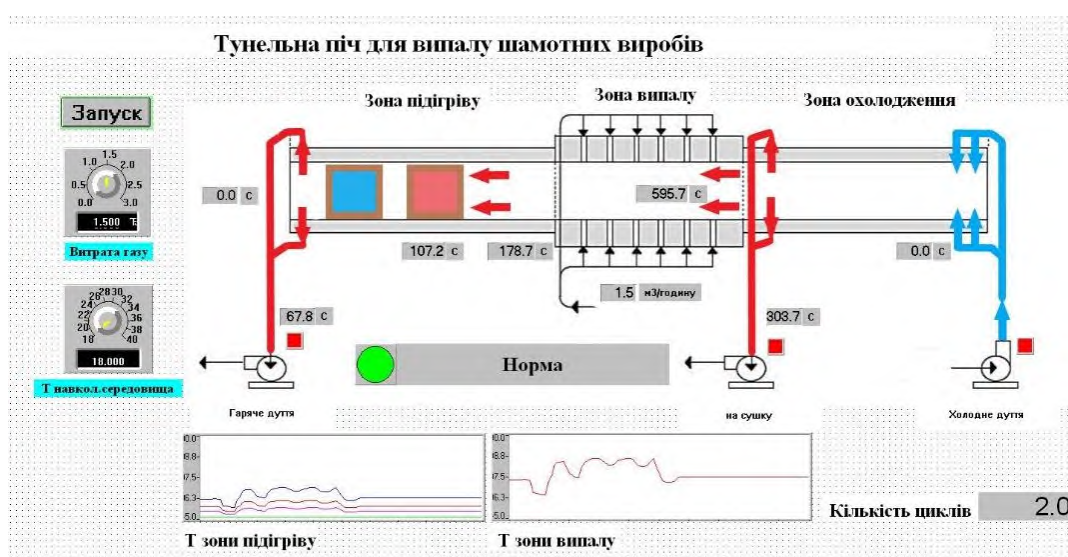


Рисунок 3 – Інтерфейс оператора тунельної печі

Список використаних джерел

1. Котуранова Т. В. Стан та перспективи розвитку ринку керамічних матеріалів / Т. В. Котуранова, А. В. Котенко // Економічний простір. – 2020. – № 161. – С. 43-48.
2. Остапенко Ю. О Застосування експертної системи для керування процесом випалювання керамічної цегли / Ю. О. Остапенко, І. В Ярошук // Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – № 2 (13). – С. 35-40.

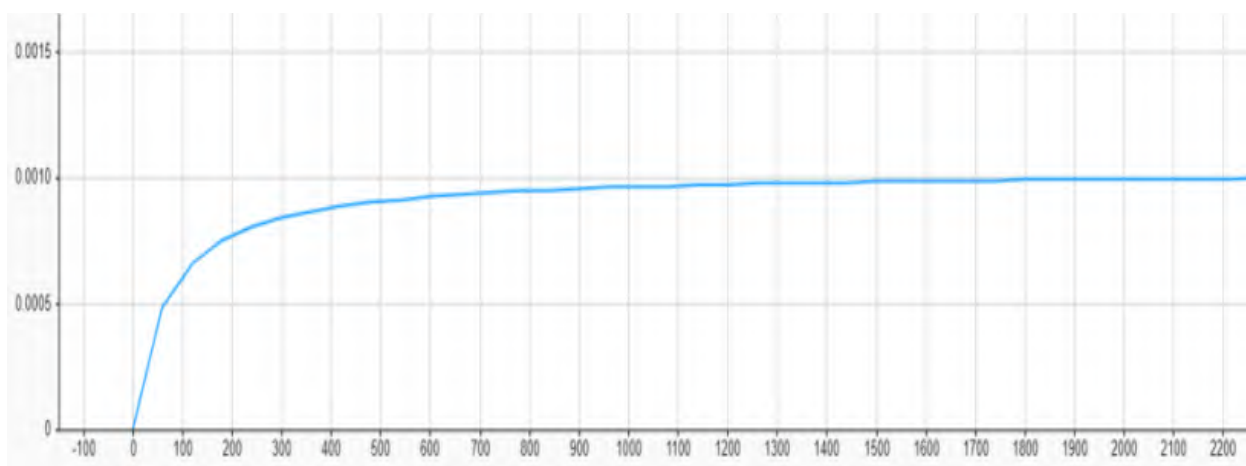
ПОБУДОВА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ТЕПЛИЦЬ

Червко Олена Олександрівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, chervkoea89@gmail.com¹,

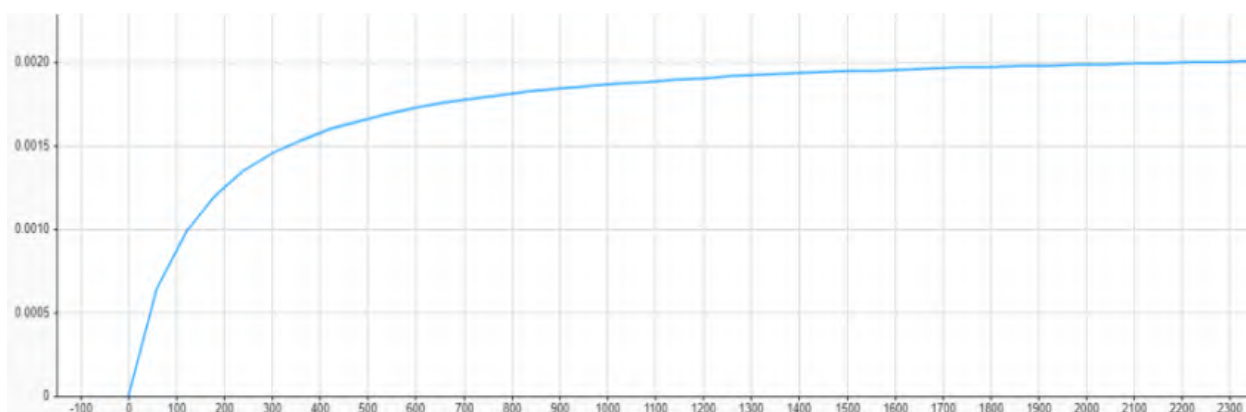
Піперіди Микита Віталійович, студент групи МА-24-М, piperidi_m_v@students.pstu.edu¹,

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

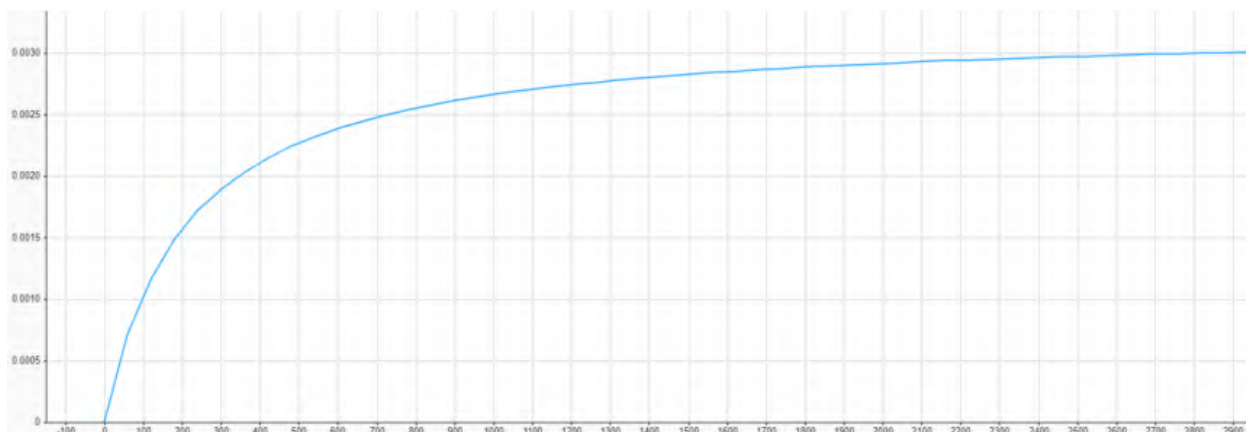
Основна мета системи регулювання освітлення в інтелектуальній теплиці – це забезпечення ефективного використання світлової енергії для фотосинтезу рослин з одночасною мінімізацією витрат ресурсів. Головне завдання полягає в оптимізації балансу між



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Графіки залежності швидкості фотосинтезу від освітленості при концентрації $[\text{CO}_2]$, що становить 400 ppm (а), 800 ppm (б) та 1200 ppm (в)

У розробленій моделі передбачено автоматичне вимкнення штучного освітлення, коли кількість природного сонячного світла є достатньою або надмірною для здійснення процесу фотосинтезу. Це сприяє ефективному використанню доступних ресурсів та підтримці оптимального середовища для розвитку рослин.

Для оцінки правильності роботи моделі регулювання освітлення в умовах теплиці, імітувалися зміни інтенсивності сонячного випромінювання. При досягненні певного порогового значення сонячної радіації відбувається відключення лампи. Це пояснюється тим, що рівень освітленості в теплиці стає достатнім для нормального перебігу фотосинтезу, і

подальше використання додаткового штучного освітлення стає економічно не вигідним або навіть шкідливим. Тому відбувається автоматичне вимкнення лампи з метою економії електроенергії та раціонального використання наявних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Гайдукевич С. В., Семенова Н. П., Леськів Я. А. (2020). Підвищення ефективності в системах керування мікрокліматичними параметрами приміщень закритого ґрунту. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : технічні науки. № 6. С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/10>

2. Katsoulas N., Stanghellini C. (2019) Modeling Crop Transpiration in Greenhouses: Different Models for Different Applications. Agronomy. № 9 (7), P. 392-396

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ ФАЛЬШИВИХ USB ПОРТІВ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Шатківський Віталій Миколайович, вчитель інформатики,
Заслужений вчитель України, pzs_shvm@ztu.edu.ua¹

Станкевич Віктор Олександрович учень 11-Д групи,
24d_svo@liceum.ztu.edu.ua¹

¹ Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей»
Державного університету «Житомирська політехніка», м.Житомир, Україна

В наш час тотальної мобільності, універсальна послідовна шина (USB) стала світовим стандартом для передачі даних, живлення портативних пристроїв, підключення інших пристроїв. Однак ситуація в Україні в умовах війни і постійних блекаутів, набула нового критичного значення. Регулярні і систематичні обстріли критичної інфраструктури привели до того, що в більшості областей України довготривало відключають енергопостачання. Ця ситуація змінила побутові звички мільйонів людей по Україні, змушуючи їх шукати альтернативні джерела живлення для своїх пристроїв, які в нашому світі являються не тільки засобом зв'язку з іншими людьми, а й способом навчання, роботи та доступу до життєво важливої інформації, такої як ситуація про обстріли, про тривоги і ракетні небезпеки, про розміщення найближчих укриттів тощо.

Актуальність проблеми на даний момент є дуже гострою проблемою, бо більшість людей в яких бувають довготривалі відключення світла шукають альтернативні способи зарядки пристроїв (Пункти незламності, в парках зарядки, на зупинках, в кафе та ресторанах) [1]. І в сучасній реальності в більшості випадків старі розетки замінюють на USB A та USB C порти. На відміну від звичайних електричних розеток USB-порти являються двонаправленим каналом передачі даних [2].

Так як USB порт є двонаправленим інтерфейсом передачі даних, то зловмисники часто використовують його в своїх цілях. Зловмисники роблять накладку на звичайний USB порт або підключають свій кабель зарядки, який одночасно заряджає пристрій, і скачує ваші дані, або завантажує свою програму обходячи захист телефону часто маскуючись під клавіатуру або мишу. Федеральна комісія зі зв'язку США та ФБР застерігають користувачів від таких випадків. [3] Щоб зменшити ризик зараження, рекомендується заряджати телефон лише за допомогою власного адаптера живлення або переносного аккумулятора (power bank).

У роботі [4] розглянуто тип кіберзагрози – атаку Juice Filming Charging (JFC), що реалізується через публічні зарядні пристрої. Дослідження виконано міжнародною групою науковців із Данії, Люксембургу, Японії та Сінгапуру. Метою є оцінка реального впливу цієї атаки на конфіденційність користувачів мобільних пристроїв у повсякденних умовах. Атака JFC полягає у прихованому відеозаписі екрана смартфона під час заряджання через USB або

Lightning-кабель. Завдяки використанню стандарту MHL та технології розпізнавання тексту (OCR) зловмисники можуть автоматично отримати конфіденційні дані, такі як паролі, PIN-коди, електронну пошту, банківські логіни чи повідомлення в месенджерах. При цьому від користувача не вимагається жодних дозволів або встановлення додаткових програм, що робить атаку малопомітною та складною для виявлення антивірусними засобами.

Опитування понад 2500 користувачів продемонструвало, що 69% заряджають телефони у громадських місцях, тоді як 77% не знають про існування атак через зарядні кабелі. Це свідчить про низький рівень обізнаності щодо даного типу загроз [4].

Для емпіричної перевірки атаки було проведено експеримент у трьох типових середовищах – у компанії, університеті та бізнес-залі. У кожному місці було встановлено п'ять модифікованих зарядних пристроїв, які протягом п'яти днів збирали від 250 до 500 відеозаписів щодня, загальним обсягом від 8 до 20 ГБ. Аналіз отриманих матеріалів показав, що за допомогою JFC можливо відтворити широкий спектр персональних даних користувачів – від елементів автентифікації до вмісту електронних листів і чатів [4].

Результати дослідження доводять, що атака Juice Filming Charging становить серйозну загрозу для приватності користувачів смартфонів. Підвищення рівня кіберграмотності населення та розроблення методів захисту під час публічного заряджання мають стати пріоритетними напрямками подальших досліджень у сфері мобільної безпеки.

Дослідження Крудсен С. та Лі В показує, що до 97,1% учасників використовують свої телефони під час процесу заряджання (тобто спілкуються з друзями), що призводить до неминучої проблеми витоку конфіденційності на практиці [5].

Сценарій 1: Атака типу «Клавіатура» (HID-атака). Це найбільш підступний метод. Людський інтерфейсний пристрій (HID) – це технічний термін для клавіатур, мишей, джойстиків. Критична особливість цього протоколу полягає в тому, що всі операційні системи (Android, iOS, Windows) за замовчуванням довіряють таким пристроям. Вони розроблені за принципом «підключи і працюй» (Plug-and-Play). Телефон не буде питати дозволу «Довіряти цій клавіатурі?». Він просто припустить, що це клавіатура, і почне приймати

Сценарій 2: «Juice Jacking» (крадіжка через передачу даних). Цей сценарій базується на імітації підключення до комп'ютера. Коли телефон підключається, система пропонує режими: «тільки зарядка», «передача файлів» тощо. Якщо підключення дозволяє передачу даних, атакуючий може отримати доступ до файлової системи: скопіювати фото й відео (з EXIF-даними), документи, резервні копії, список контактів. Також можлива передача на пристрій шкідливих файлів, які пізніше будуть запущені.

Сценарій 3: Підключення невідомого USB-пристрою може призвести до серйозних проблем. На флешках і інших накопичувачах можуть міститися віруси; крім того, існують шкідливі пристрої (наприклад, «USB Killer»), які здатні вивести з ладу електроніку, подаючи на порт дуже високу напругу. Не можна підключати до свого телефону знайдені або «безкоштовні» USB-пристрої.

Висновок. Більшість людей не усвідомлюють ризик публічних USB портів. Проведене дослідження підтверджує, що енергетична криза в Україні, спричинена війною, створила сприятливі умови для кіберзлочинців. Використання публічних USB-портів перетворилося з питання зручності на питання особистої безпеки. Загрози є реальними та технологічно реалізованими. HID-атаки небезпечні своєю прихованістю та безумовною довірою з боку операційних систем, тоді як «Juice Jacking» експлуатує поведінкові шаблони користувачів.

Список використаних джерел

1. Крючкова Л.П., Стеблина О.С. Захист смартфонів від впливу шкідливих програм в процесі зарядки у громадських місцях. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3 (23), 2024. С. 338-347. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/49846/1/Kriuchkova_L_Steblyna_%D0%9E_CEST_3_23_2024.pdf
2. Порівняння USB 2.0, 3.0, 3.1, 3.2 та USB4 за швидкістю, живленням і сумісністю. URL: <https://1-tech.com.ua/porivnyannya-versij-usb/>
3. <https://www.intech-hawaii.com/fbi-warning-scammers-mailing-usb-drives-to-unsuspecting-victims/>

4. Weizhi Meng, Wang Hao Lee, Zhe Liu, Chunhua Su and Yan Li
Evaluating the Impact of Juice Filming Charging Attack in Practical Environments
<https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/34109/1/ICISC2017%202.pdf>

5. Крудсен С., Лі В. «Ваші дані витікають! Емпіричне дослідження звичок користувачів під час заряджання смартфонів», 23-тя Міжнародна конференція IEEE з питань довіри, безпеки та конфіденційності в обчислювальній техніці та зв'язку (TrustCom) 2024 р., Санья, Китай, 2024 р., с. 2619-2626, doi: 10.1109/TrustCom63139.2024.00365.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ТА МОНІТОРИНГУ УМОВ У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ

Шатківський Віталій Миколайович, вчитель інформатики,

Заслужений вчитель України, pzs_shvm@ztu.edu.ua¹

Татуревич Олександра Денисівна, учениця 11-Б групи, 24b_tod@liceum.ztu.edu.ua¹

¹ Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей»

Державного університету «Житомирська політехніка», м.Житомир, Україна

Згідно зі статтею 21 Кодексу цивільного захисту України, громадяни України мають право на забезпечення засобами колективного та індивідуального захисту та їх використання, такими засобами є захисні споруди [1].

До захисних споруд цивільного захисту належать: сховища, протирадіаційні укриття – споруди, що мають перебувати в постійній готовності до використання за призначенням, а також споруди подвійного призначення [2].

В умовах воєнного стану в Україні питання безпеки цивільного населення стає одним із найвищих державних пріоритетів. Постійна загроза ракетних і дронівих атак, артилерійських обстрілів та інших видів агресії з боку ворога вимагає швидкої реакції й ефективної організації систем оповіщення та укриття для населення.

Трагедія 1 червня 2023 року [3], коли люди загинули, намагаючись потрапити в замкнене укриття, стала символом того, що питання доступності захисних споруд набуло критичного значення.

Для забезпечення доступу населення до укриттів можуть використовуватися різні методи:

- укриття завжди відкрите;
- механічні засоби доступу (ключі в конкретної людини);
- сучасні автоматизовані системи керування доступом.

Найкращим шляхом забезпечення доступності до укриттів є використання новітніх автоматизованих систем. Такі системи здатні миттєво реагувати на оголошення повітряної тривоги, автоматично відчиняючи укриття для населення без участі людини. Водночас вони забезпечують збереження приватності у випадках, коли укриття розташоване у приватному приміщенні чи багатоповерхівці.

Прикладами вже впроваджених рішень є комплекси Tiras-2 та Ajax.

Tiras-2 [4] – це комплекс, який здійснює моніторинг повітряної тривоги та автоматично відчиняє або зачиняє укриття залежно від сигналу в області. Додатково він має мобільний застосунок для зручності користування. Вартість такого рішення становить від 10 000 грн. Проте можливості системи обмежуються лише управлінням доступом до укриття. Питання контролю умов перебування людей всередині (температури, вологості повітря та концентрації вуглекислого газу), на які існують державні рекомендації [5], залишаються невирішеними.

Ajax Black Shelter Kit [6] – це комплект автоматичного відкриття укриттів у разі повітряної тривоги. Система реагує на сигнал тривоги, розблоковуючи електромагнітний замок дверей, що забезпечує швидкий доступ людей до сховища. Після відбою тривоги укриття може автоматично зачинятися. Комплект оснащений резервним живленням на випадок відключення електроенергії. Вартість рішення становить від 7500 грн. Проте система не контролює

мікроклімат усередині укриття – параметри температури, вологості та якості повітря залишаються поза її функціональністю.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика систем доступу до укриттів

Параметри	Tiras-2	Ajax Black Shelter Kit
Основне призначення	Автоматичне відчинення та зачинення укриття залежно від сигналу повітряної тривоги	Автоматичне відчинення та зачинення укриття залежно від сигналу повітряної тривоги
Функціональні можливості	Моніторинг повітряної тривоги, керування замками укриття, мобільний застосунок	Моніторинг повітряної тривоги, керування замками укриття
Інтеграція з системою оповіщення	Так, система отримує інформацію з сайту https://alerts.in.ua/ та одразу реагує на повітряну тривогу	Так, при сигналі повітряної тривоги система одразу реагує та починає процес відкриття укриття.
Контроль умов усередині укриття	Ні	Ні
Мобільний застосунок	Так	Ні
Має кнопку відкриття зсередини	Ні	Так
Вартість	Від 10 000 грн	Від 7500 грн

Проаналізувавши порівняльну таблицю, можна зазначити, що обидві системи є ефективними для керування доступом до укриттів, проте вони не забезпечують повного контролю умов перебування людей у разі тривалих тривог. Жодна з розглянутих систем не оснащена датчиками для моніторингу температури, вологості повітря та концентрації вуглекислого газу.

Ajax [7] може запропонувати вирішення системою, яка обладнана датчиками температури, вологості та вмісту CO₂, що дозволяє контролювати умови перебування людей у сховищі. Вартість комплексу починається від 15 000 грн. Водночас система не інтегрована з сигналами повітряної тривоги, що обмежує її функціональність.

Таким чином постає три ключові завдання:

- забезпечити автоматичне відкриття укриття під час оголошення повітряної тривоги;
- реалізувати моніторинг рекомендованих параметрів мікроклімату (температури, вологості, концентрації CO₂);
- знизити вартість системи, щоб зробити її доступною для широкого кола користувачів, адже право на безпеку є базовим для кожної людини.

У висновку можна зазначити, що наразі існує кілька систем, які лише частково задовольняють вимоги, необхідні для облаштування укриттів. Тому виникає потреба у створенні економічно вигідної, ефективної та доступної для суспільства системи, яка забезпечуватиме не лише автоматичне відкриття укриттів під час тривоги, а й контроль параметрів мікроклімату для комфортного перебування людей усередині.

Список використаних джерел

1. Кодекс цивільного захисту України. Документ № 4574-IX, чинний, поточна редакція від 21.08.2025, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 20.10.2025).
2. Жидкова Тетяна. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ споруд цивільного захисту для маломобільних груп населення, URL: <https://naiu.org.ua/wp->

content/uploads/2023/03/NAIU_AvailabilityOfCivilProtectionStructuresUA_v04.pdf (дата звернення: 20.10.2025).

3. "Не відкрили укриття". Унаслідок нічної атаки РФ по Києву троє людей загинули, 16 поранені, URL: <https://suspilne.media/493366-nicna-raketna-ataka-na-kiiv-zaginuli-tri-ludini> (дата звернення: 20.10.2025).

4. Системна автоматизація доступу до укриттів, URL: https://tiras.technology/blog/shelter_access_automatization/ (дата звернення: 20.10.2025).

5. Державні будівельні норми України. Захисні споруди цивільного захисту, URL: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3225773063500990463/2023-10-31/c3bc6a12-9613-456c-90c4-2efb03e6588d.pdf (дата звернення: 19.10.2025).

6. Ajax Systems обладнала укриття у Львові автоматичною системою відчинення дверей, URL: <https://ajax.systems.ua/blog/shelter-in-lviv-automatic-door-opening-system/> (дата звернення: 20.10.2025).

7. Створений комплекс Ajax з датчиками, URL: https://ajax.systems.ua/tools/configurator/?s=system&apartType=business&indoor_security&co_detection&air_control&intrusion_protection&fire_detection&comfort_productivity&floors=1&entrances=1&d=DP.Y.J_0%2CFP2.RBC.J_0%2CGP.Y.J_0%2CHS.Y.J_0%2CMP.Y.J_0 (дата звернення: 19.10.2025).

ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛІНІЄЮ ВІДНОВЛЕННЯ ТЮТЮНУ

Щербаков Сергій Володимирович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, sherbakov_s_v@pstu.edu¹

Міхеєнко Ілля Сергійович, студент кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій, mikheienko_i_s@students.pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

В сучасних умовах промислового виробництва впровадження інноваційних рішень та автоматизація технологічних процесів дозволяють значно підвищити ефективність виробництва та знизити витрати. Автоматизоване керування виробництвом сприяє підвищенню продуктивності та зниженню відсотка браку.

Автоматизована система управління проєктується для лінії відновлення тютюну, яка дає можливість використати відходи тютюнового виробництва, зокрема тютюновий пил для подальшої переробки. Технологія виробництва відновленого тютюнового листа дає змогу перетворити вторинну сировину на якісний напівфабрикат, придатний для подальшого використання у виробництві тютюнових виробів. Такий підхід знижує собівартість продукції та має вагоме екологічне значення. Було розроблено систему, яка контролює усі етапи виробництва - від змішування до пакування готового продукту. Система контролює процес утворення необхідної суміші, роботу конвеєрів, змішувачів, формуючих вузлів та іншого технологічного обладнання лінії. Вона здійснює збір показань датчиків (масових витрат, рівня, вологості) і керує приводами, сушильними модулями згідно з заданими технологічними режимами.

Для інтуїтивного контролю і моніторингу роботи оператором використано SCADA/HMI рішення на базі Siemens TIA Portal. WinCC, частина пакету програмного забезпечення TIA Portal, є повнофункціональною SCADA-системою для збору та обробки даних у реальному часі і містить засоби для створення інтуїтивних графічних екранів. В роботі було розроблено графічний інтерфейс, який надає можливість оператору здійснювати моніторинг та керування лінією. Оператори мають доступ до мнемосхем лінії з індикацією певних процесів, історій повідомлень, елементів керування та схем налаштування параметрів у вигляді рецептів, що дозволяє їм в реальному часі спостерігати за станом процесу та вносити необхідні зміни.

Програмну частину системи реалізовано в середовищі Siemens TIA Portal V18. Було створено алгоритми керування лінією на контролерах Simatic 1214c DC/DC/DC. Саме такий

контролер було обрано через те, що він підтримує необхідну кількість сигнальних модулів та цілком підходить для даного типу задач. Використання TIA Portal дозволило інтегрувати налаштування мережевої взаємодії PROFINET між обладнанням і HMI, а також реалізувати безпечні протоколи керування. Програмна логіка включає роботу лінії в автоматичному та ручному режимі, генерацію аварійних повідомлень, можливість внесення змін до процесу, наприклад, до регулювання швидкості транспортерів або температури в зоні сушіння, формування фаз машини, статусів кожної зони, взаємопов'язаності усіх зон між собою, управління змішуванням матеріалів, контролю подачі у наступні зони, контролю вологості. Розроблене програмне забезпечення пройшло тестування у вигляді модульного налагодження і емуляції. Такі випробування гарантують надійну роботу алгоритмів у всіх можливих сценаріях і забезпечують стійкість системи під час її введення в експлуатацію.

Застосування розробленої АСУТП дає змогу більш ефективно використовувати вихідну сировину та зменшувати відсів браку.

Оператори отримують оперативний доступ до актуальних даних та аналітичних зведень, а завдяки HMI інтерфейсу персонал може обробляти великі обсяги інформації швидше і точніше.

Реалізовано блоки аварійної зупинки та перезавантаження, а також захист всіх критичних вузлів, що гарантує безпечну роботу лінії в екстрених ситуаціях.

Впровадження розробленої АСУ дозволяє оптимізувати управління процесом відновлення тютюну, підвищити ефективність виробництва та знизити експлуатаційні витрати. Система забезпечує точний аналіз вхідних даних та надійну візуалізацію, що полегшує роботу операторів і технічного персоналу. Як зазначено в профільних дослідженнях, такі рішення сприяють поліпшенню продуктивності та якості виробництва. В цілому розроблена АСУТП дає змогу зробити систему керування більш гнучкою й стійкою, сприяє раціональному використанню відходів виробництва та підвищенню загальної ефективності технологічного процесу.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПРОДУКТУ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ

Щербаков Сергій Володимирович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, sherbakov_s_v@pstu.edu¹

Прядко Валерій Володимирович, студент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, priadko_v_v@students.pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

В умовах сучасного виробництва ефективне управління процесами та контроль технологічних параметрів набувають критичного значення для досягнення операційного успіху. Впровадження інноваційних рішень та автоматизація виробничих процесів є прямим шляхом до суттєвого підвищення якості продукції, збільшення загальної ефективності, підвищення рівня промислової безпеки та оптимізації операційних витрат. З огляду на великий обсяг технологічних даних, показників датчиків і необхідність швидкого прийняття рішень, якісне програмне забезпечення стає ключовим інструментом для досягнення даних цілей.

Наукова робота присвячена дослідженню методів адаптивного керування замкнутим циклом подрібнення технологічних різновидів залізничної сировини. Виконано огляд наукової та технічної літератури. Проведено критичний аналіз існуючих автоматичних систем керування процесом подрібнення та способів їх практичної реалізації. Детально розглянуто адаптивні системи керування та надано їх класифікацію. На основі проведеного аналізу сформульовано задачі та мету подальшого дослідження.

Зроблено аналіз функціонування системи керування подрібненням на основі стандартного ПД-регулятора. Проведено дослідження показників якості регулювання системи в умовах зміни параметрів об'єкта керування (параметричні збурення). На основі отриманих результатів визначено вимоги до розробки ефективної системи, що базується на адаптивних методах керування.

Проведено експериментальне дослідження адаптивних регуляторів, яке ґрунтується на модифікованих методах налаштування Зіглера-Ніколса. Виконано аналіз динамічних показників якості адаптивної системи керування в умовах непостійності параметрів технологічного процесу.

Серед усіх досліджених регуляторів найкращі результати продемонстрував контролер Зіглера-Ніколса для процесів 3-го порядку з фільтрацією диференціальної складової та використанням апроксимації Тастіна (ЦНЗФД).

Порівняльний аналіз виявив, що перерегулювання для ЦНЗФД є значно меншим, ніж у інших протестованих адаптивних регуляторів, а також у ідеальних умовах показники перерегулювання та час регулювання для ЦНЗФД є вищими (кращими) порівняно з класичним, оптимально налаштованим, ПД-регулятором.

Ключова перевага ЦНЗФД проявляється в умовах дії на систему значних координатних та параметричних збурень (імітація реальних умов), коли класичний ПД-регулятор не справляється із завданнями керування та не забезпечує виконання необхідних вимог до якості.

Також при моделюванні роботи реальної системи ЦНЗФД демонструє задовільні показники якості перерегулювання – 5%, середнє значення похибки – 0.75, час встановлення перехідного процесу у $\pm 5\%$ зону від сигналу завдання – 589 секунд.

ЦНЗФД ефективно справляється як із впливом параметричних збурень (зміна характеристик технологічного процесу), так і з впливом випадкових збурень у каналі керування об'єктом.

В роботі розглянуто програму контролера дробильної фабрики на базі PLC SIEMENS Simatic S 1500-N, який керує процесом подрібнення, а також конвеєрами фабрики.

Програма керуючого контролера виконана засобами мови програмування STEP7, що включає в себе головний організаційний блок OB1, який підключає функціональні блоки FB керування механізмами дробильної фабрики. Також використовуються блоки даних DB, в яких записані необхідні параметри керування двигунами, масляними станціями і т. п.

Система передбачає гаряче резервування контролерів для забезпечення безперервного і безаварійного керування всім обладнанням фабрики. Промислова мережа реалізована на базі Profinet зі швидким і детермінованим обміном даних, що критично важливо для керування рухом (motion control) та виконання високоточних операцій на даному виробництві.

ПОРІВНЯННЯ НАЯВНИХ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ З САЙТУ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Щербина Богдан Тарасович, здобувач вищої освіти
за спеціальністю Інформаційні системи та технології,
bogdanscherbinadev@gmail.com¹

Мельников Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент,
в. о. зав. кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень,
alexandr@melnikov.in.ua¹

¹ Донбаська державна машинобудівна академія

В умовах дистанційного та сучасного навчання, цифровізація освітнього процесу вимагає ефективних інструментів для взаємодії між студентами, викладачами, абітурієнтами та адміністрацією закладів вищої освіти. Попри це, не всі університети мають зручні цифрові

рішення для доступу до розкладу, новин, навчальних платформ або офіційних документів. Так, наприклад, в ДДМА наявна система обмежується використанням простого Telegram бота [1–4] зі статичними командами, які не здатні обробляти запити природною мовою чи враховувати індивідуальні потреби користувачів. Такий підхід ускладнює швидкий пошук необхідної інформації, змушує студентів витрачати час на ручний пошук даних і не забезпечує персоналізованої взаємодії.

Студенти не завжди отримують своєчасні повідомлення про зміни в розкладі, початок сесії або якісь важливі оновлення, а адміністрація витрачає значні ресурси на обробку типових запитів. Особливо гостро це проявляється під час дистанційного навчання, коли цифрова взаємодія стає єдиним каналом комунікації. Абітурієнти також постають перед труднощами, для отримання відповідей на питання про вступ, спеціальності чи перелік документів їм доводиться самостійно переглядати вебсайт університету без допомоги інтерактивного помічника.

Розвиток технологій штучного інтелекту створює можливість подолати ці проблеми за допомогою інтелектуальних ШІ-агентів [5], здатних розуміти контекст запиту, працювати з офіційними документами, навчальними системами та календарями. Такі рішення можуть не лише надавати інформацію, а й автоматизувати дії, наприклад додавати події до Google Calendar [6], нагадувати про кінцеві терміни чи зміни в розкладі, забезпечуючи інтеграцію різних сервісів університету в єдиний інтерфейс.

Переходячи до порівняльного аналізу конкретних рішень, окреслимо підхід і критерії оцінювання. Будемо розглядати кожного ШІ-агента з позиції здатності працювати з даними закладу вищої освіти, наприклад робота з розкладом, новинами, офіційними документами, підтримки запитів природною мовою та контекстної персоналізації, а також рівня автоматизації типових дій студента.

Додатково оцінюватимемо:

- інтеграції з LMS [7], календарями та внутрішніми сервісами;
- механізми сповіщень і проактивних підказок;
- багатомовність і локалізацію під регіон або закладу вищої освіти;
- вимоги до впровадження та масштабування;
- зручність інтерфейсу для студентів і абітурієнтів.

Далі, послідовно розберемо кожне рішення.

Modo Labs “My Agent” [8] – це ШІ-асистент, інтегрований у мобільний застосунок кампусу. Він виступає як довідник закладу вищої освіти, що дозволяє студентам отримувати відповіді на питання про розклад занять, події чи сервіси університету. Система підтримує базову взаємодію через чат, а також інтеграцію з основними інформаційними системами – SIS [9] та LMS. Водночас відсутня пряма інтеграція з Google Calendar чи зовнішніми календарними сервісами, що обмежує можливості автоматизації нагадувань і синхронізації навчального графіка студента. Основна увага платформи зосереджена на доступі до внутрішніх даних кампусу, а не на інтелектуальній персоналізації чи обробці документів.

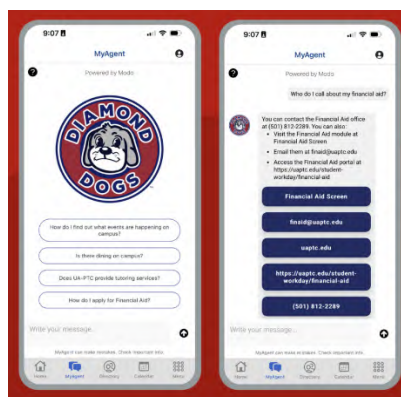


Рисунок 1 – Інтерфейс рішення Modo Labs “My Agent”

QuadC AI [10] є комплексною освітньою платформою, що поєднує функції ШІ-репетитора, асистента для викладачів та сервісного чат-бота. Вона взаємодіє з LMS та забезпечує персоналізовані відповіді студентам на основі їхніх навчальних даних, дозволяючи адаптувати підхід до кожного користувача. Однак основний фокус QuadC AI зосереджено на підтримці навчального процесу, таких як пояснення матеріалу, допомога з завданнями, тоді як аспекти автоматизації розкладу, обробки документів чи інтеграції з адміністративними сервісами університету залишаються поза межами її функціоналу.

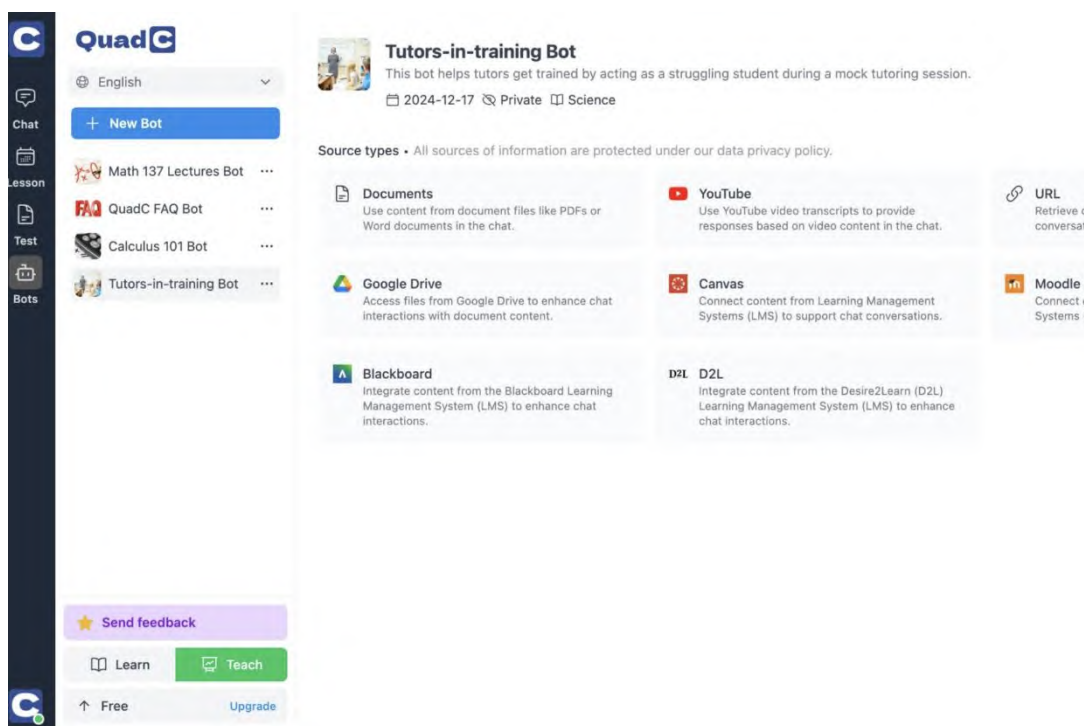


Рисунок 2 – Інтерфейс рішення QuadC AI

LearnWise AI [11] – ще одне рішення, орієнтоване на комплексну підтримку студентів, викладачів і адміністрації. Система надає доступ до кінцевих термінів, курсів, політик, навчальних матеріалів і навіть може формувати індивідуальні освітні плани. Вона фокусується на аналітиці навчання та персоналізованому доступі до інформації в LMS. Водночас відсутня тісна інтеграція з популярними службами обміну повідомленнями або персональними календарями, що обмежує оперативність комунікації та взаємодії користувача з даними у зручному середовищі.

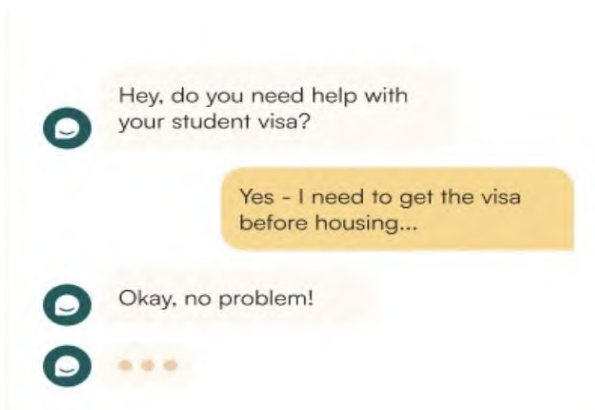


Рисунок 3 – Інтерфейс рішення LearnWise AI

Synq [12] – це мобільний застосунок, який поєднує функції чат-бота та календаря. Він допомагає студентам організовувати час, додавати заняття до розкладу, отримувати нагадування й ставити запитання у природній формі. Однак Synq функціонує переважно як особистий помічник користувача, не маючи доступу до офіційних систем чи баз даних

університету. Через це він не може гарантувати певність інформації та не відображає повний контекст академічного середовища.

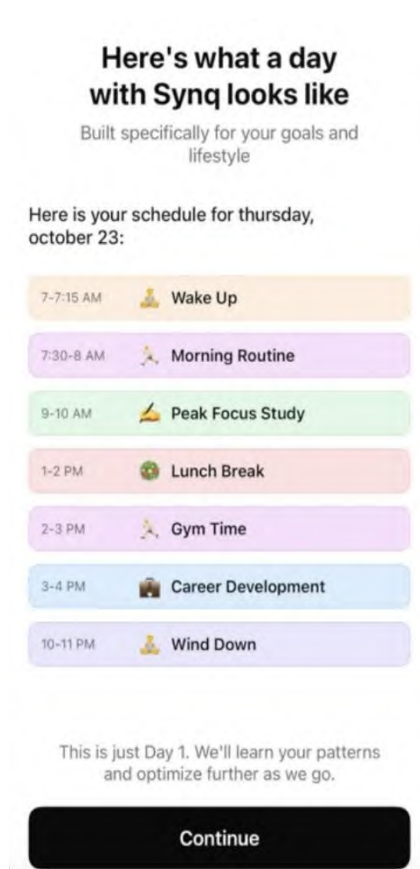


Рисунок 4 – Інтерфейс рішення Synq

BrightspaceBot [13] – чат-бот, вбудований у свою LMS Brightspace. Він дозволяє студентам отримувати інформацію про кінцеві терміни, оцінки, матеріали курсів і повідомлення безпосередньо через чат. Однак можливості цього рішення обмежені рамками LMS, бот не взаємодіє з іншими внутрішніми сервісами університету, не має доступу до розкладу чи документів, не підтримує інтеграцію з календарями або службами обміну повідомленнями. Таким чином, система є ефективною лише у межах навчальної платформи, але не забезпечує повного цифрового супроводу студента. Це також створює ефект технологічної залежності від постачальника програмного забезпечення – коли заклад вищої освіти обмежений можливостями та інфраструктурою конкретної платформи. У такому випадку інтеграція з іншими сервісами, перенесення даних або розширення функціональності потребують додаткових витрат і технічних узгоджень із розробником, що знижує гнучкість системи, ускладнює локальну адаптацію та стримує розвиток відкритої цифрової екосистеми університету.

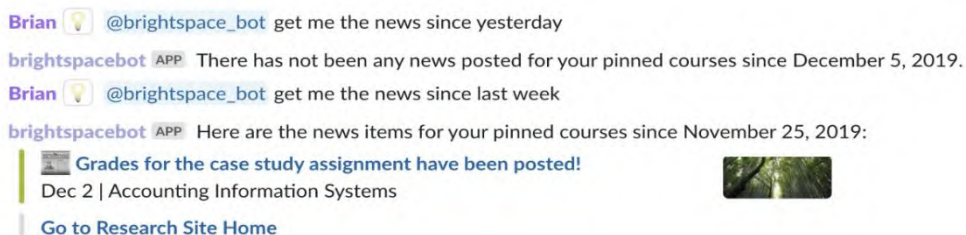


Рисунок 4 – Інтерфейс рішення BrightspaceBot

Зробимо узагальнення обмежень наявних рішень.

Попри різноманітність підходів, усі розглянуті рішення мають спільні обмеження:

- обмежений доступ до даних закладу вищої освіти. У більшості ботів, таких як BrightspaceBot або CanvasBot, можливості обмежені даними LMS. Вони не мають доступу до розкладу занять, інформації про стипендії чи внутрішніх документів університету;
- відсутність глибокої персоналізації. Системи не враховують контекст користувача, наприклад, такі як курс, групу, спеціальність або потребують численних уточнень;
- низький рівень автоматизації. Боти зазвичай лише надають інформацію, не допомагаючи користувачу у подальших діях – наприклад, у створенні нагадування чи додаванні іспиту до календаря;
- відсутність семантичної обробки документів. Навіть сучасні системи не дозволяють ставити запитання на основі змісту документів, наприклад, «Які умови для отримання соціальної стипендії?», змушуючи користувача шукати інформацію вручну;
- мовні та регіональні обмеження. Більшість глобальних рішень орієнтовані на англomовне середовище та не підтримують локальні мови, освітні стандарти чи хостинг в межах країни;
- незручність у використанні. Часто такі рішення реалізовано у вигляді окремих мобільних застосунків або вебсайтів, що потребують авторизації, тоді як служби обміну повідомленнями, якими користуються щодня, залишаються поза інтеграцією;
- залежність від постачальника програмного забезпечення (vendor lock-in). Для отримання доступу до кожного рішення необхідно попередньо замовити демонстрацію, пройти процес погодження та підписання угод. Це створює адміністративні бар'єри для впровадження та призводить до технологічної залежності від конкретного постачальника. У разі, якщо заклад вищої освіти забажає змінити систему або інтегрувати власні інструменти, реалізувати це буде складно через закриту інфраструктуру, комерційну модель та відсутність сумісності з альтернативними рішеннями. Таким чином, бізнес-модель постачальників базується на утриманні клієнта всередині власної екосистеми, що обмежує цифрову автономію університету та його можливість розвивати власні інтелектуальні рішення.

Отже, аналіз показує, що жодне з наявних рішень не забезпечує повного циклу роботи з даними закладу вищої освіти – від семантичного пошуку по документах до персоналізованої взаємодії через зручний інтерфейс. На відміну від розглянутих систем, запропоноване рішення – інтелектуальний ШІ-агент, інтегрований з сервісами закладу вищої освіти, спрямоване на усунення всіх виявлених прогалин. Його архітектура забезпечує університету цифровий суверенітет у керуванні власними даними. На відміну від закритих комерційних платформ, ШІ-агент може безпосередньо працювати з офіційними документами, розкладами, стипендійними відомостями, новинами та іншими джерелами даних закладу вищої освіти.

Системи закладу вищої освіти буде доповнена для формування та своєчасного оновлення семантичного контексту даних закладу вищої освіти, що передбачає створення механізму, який забезпечуватиме інтелектуальне опрацювання та збереження інформації з різних джерел – розкладів, оголошень, офіційних документів, новин та інших матеріалів. Усі ці дані проходитимуть попередню обробку для створення векторів, які зберігатимуться у векторній базі даних, що дає змогу здійснювати семантичний пошук [14]. Завдяки цьому ШІ-агент зможе формувати релевантні відповіді навіть на нечіткі або контекстні запитання користувачів, забезпечуючи глибше розуміння даних закладу вищої освіти і їх оперативне оновлення при зміні джерел інформації.

Наявна база даних бота вищого навчального закладу буде доповнена для зберігання персональних даних студентів. Завдяки цьому ШІ-агент зможе автоматично враховувати контекст користувача та надавати відповіді, релевантні саме його навчальному плану, і виконувати додаткові дії, наприклад, додавання розкладу занять або сесії до Google Calendar.

Створення MCP серверу [15] передбачає проміжний шар, який забезпечуватиме інтелектуальному ШІ-агенту доступ до різних джерел закладу вищої освіти та зовнішніх даних через уніфікований інтерфейс. Завдяки цьому ШІ-агент зможе запитувати потрібні дані, отримувати структуровані відповіді та самостійно визначати, як саме ці дані слід використати для виконання запиту користувача.

ШІ-агент поєднує розуміння природної мови, тобто у звичній розмовній формі студент зможе отримувати актуальну інформацію про розклад занять, сесію, новини, оголошення або стипендії. Наприклад, поставити запитання “Чи вийшов я на стипендію” або “Коли почнеться сесія” – ШІ-агент самостійно знайде потрібний документ, прочитає його та відповідь із посиланням на конкретний параграф, як джерело відповіді.

Окремою перевагою є підтримка абітурієнтів, які за допомогою ШІ-агента можуть швидко отримати інформацію про факультети, спеціальності, умови вступу, перелік необхідних документів чи дати вступної кампанії. Це значно зменшує навантаження на приймальну комісію та спрощує комунікацію між університетом і потенційними студентами.

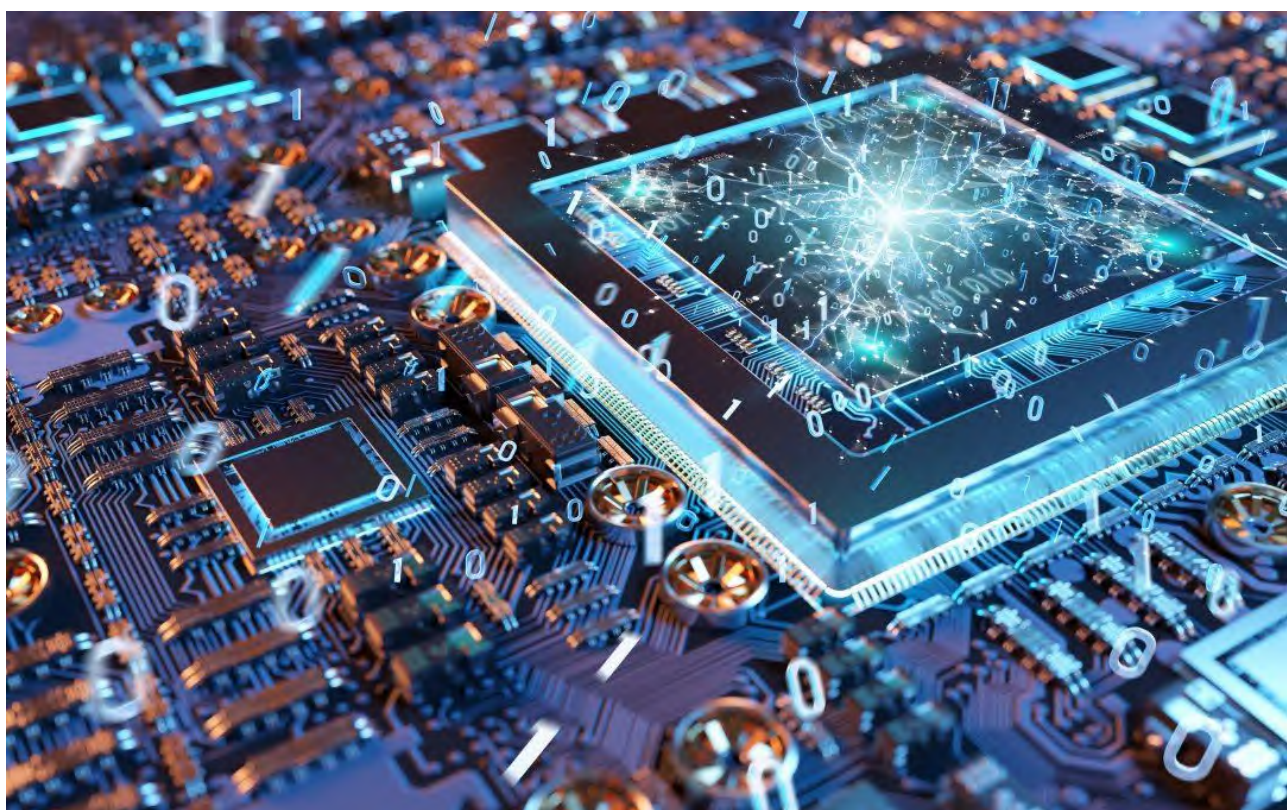
У результаті створюється єдина інтелектуальна екосистема взаємодії між студентом, адміністрацією та інформаційними ресурсами університету. Вона поєднує гнучкість, персоналізацію та автономність, що робить запропонований ШІ-агент сучасною альтернативою закритим комерційним рішенням.

Список використаних джерел

1. Telegram Bot Platform URL: <https://telegram.org/blog/bot-revolution> (Дата звернення 30.10.2025)
2. Мельников О. Ю., Пеліх Є. П. Використання телеграм-ботів для спрощення доступу до інформації закладу вищої освіти. Сучасна освіта – доступність, якість, визнання: збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-методичної конференції, 13–14 листопада 2024 року, м. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль / [за заг. ред. д-ра техн. наук., проф. С. В. Ковалевського і Hon.D.Sc., prof. Predrag Dasic]. Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 207–210.
3. Пеліх Є. П., Мельников О. Ю. Задача створення «Телеграм-бота» для спрощення доступу до інформації закладу вищої освіти. Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики: збірник тез за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Полтава: НУПІ імені Юрія Кондратюка, 2024. С. 539–540.
4. Мельников О. Ю., Пеліх Є. П. Спрощення доступу до навчальної інформації за допомогою Telegram-бота. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. Черкаси, 2025, С. 125–128.
5. AI agents – what they are, and how they'll change the way we work URL: <https://news.microsoft.com/source/features/ai/ai-agents-what-they-are-and-how-theyll-change-the-way-we-work> (Дата звернення 30.10.2025)
6. Shareable Online Calendar URL: <https://workspace.google.com/products/calendar/> (Дата звернення 30.10.2025)
7. What are Learning Management Systems, and How do you Choose One? URL: <https://360learning.com/blog/what-are-learning-management-systems-lms/> (Дата звернення 30.10.2025)
8. Modo Labs – AI Campus “My Agent” URL: <https://modolabs.com/ai-campus/> (Дата звернення 30.10.2025)
9. What is a Student Information System (SIS): Features and Benefits URL: <https://www.classe365.com/blog/what-is-a-student-information-system-sis-features-and-benefits/> (Дата звернення 30.10.2025)
10. QuadC URL: <https://www.quadc.io/> (Дата звернення 30.10.2025)
11. LearnWise AI URL: <https://www.learnwise.ai/> (Дата звернення 30.10.2025)
12. Synq URL: <https://www.synq.io/> (Дата звернення 30.10.2025)
13. D2L Labs – BrightspaceBot URL: <https://www.d2l.com/> (Дата звернення 30.10.2025)
14. What is semantic search? URL: <https://www.elastic.co/what-is/semantic-search> (Дата звернення 30.10.2025)
15. What is the Model Context Protocol (MCP). URL: <https://modelcontextprotocol.io/docs/getting-started/intro> (Дата звернення 30.10.2025)

COMPUTING

[ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА]



ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ CI/CD

Гноєвець Олег Андрійович, магістр кафедри Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, hnoievets.ol.a@nmu.one¹

Соколова Наталя Олегівна, канд. техн. наук, доцент кафедри Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, sokolova.n.o@nmu.one¹

¹ НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

В сучасних умовах швидкого розвитку програмного забезпечення значна увага зосереджується на підвищенні ефективності процесів його розробки, тестування та розгортання. Зростання складності програмних систем, часті оновлення та потреба у швидкому реагуванні на вимоги користувачів призвели до широкого поширення концепції CI/CD (Continuous Integration і Continuous Delivery / Deployment). Саме CI/CD забезпечує автоматизацію ключових етапів життєвого циклу ПЗ, зменшуючи кількість помилок, спричинених людським фактором, та скорочуючи час виходу нових версій продукту. Проте зі збільшенням масштабів і розподіленості систем постало питання оптимізації цих процесів [1].

Особливої актуальності проблема оптимізації CI/CD набуває у зв'язку з поширенням хмарних технологій та розподілених обчислень. Перехід від монолітних застосунків до контейнеризованих мікросервісів спричинив зростання кількості залежностей, сервісів та середовищ, які одночасно беруть участь у життєвому циклі програмного продукту []. У таких умовах традиційні підходи до налаштування CI/CD почали демонструвати обмеження, пов'язані з тривалістю збірки, та високими витратами на обчислювальні ресурси. Тому оптимізація конвеєрів CI/CD розглядається як необхідний крок до підвищення продуктивності розробницьких команд і стабільності релізного циклу.

Дослідження проводилося шляхом аналізу процесів CI/CD, що використовують хмарні обчислювальні ресурси та контейнеризацію програмних компонентів. На первинному етапі було визначено вузькі місця інтеграційного конвеєра, які впливали на його загальну тривалість та стабільність. Після цього здійснювалося впровадження оптимізаційних підходів та аналіз їх впливу на продуктивність, а саме:

- оптимізація збірки Docker образу, використовуючи різні базові образи та конфігурації Dockerfile;

- кешування артефактів;

- паралельність виконання конвеєра, на основі моделей, у яких етапи тестування розподіляються між декількома середовищами виконання.

Оцінювання ефективності здійснювалося на основі вимірювання часу виконання етапів конвеєра з використанням логів хмарного сервісу для безперервної інтеграції. Це дозволило виявити критичні ділянки, а також кількісно визначити вплив застосованих методів оптимізації на загальну продуктивність процесу CI/CD.

Важливу роль у забезпеченні надійності та повторюваності процесів відіграє контейнеризація. Перш за все, використання Docker забезпечує стабільність середовища, що підвищує швидкість залучення розробників. Це так само дає змогу використовувати оркестратори, як Kubernetes [2], що дозволяють:

- автоматизувати розгортання, масштабування та оновлення застосунків;

- застосовувати різні стратегії розгортання на кшталт Blue-Green Deployment або Canary Deployment, які зменшують ризики під час оновлення та допомагають уникнути простоїв;

- швидко повертатися до стабільної версії застосунку у разі виявлення критичних проблем з новою версією програмного продукту.

Вплив базового Docker-образу на продуктивність застосунку визначається не лише розміром образу, але і особливостями бібліотеки стандартних викликів libc, що використовується в оточенні контейнера. Образи alpine застосовують реалізацію musl libc, яка є компактнішою, але в окремих випадках демонструє гіршу продуктивність у порівнянні з glibc,

особливо для застосунків, що активно використовують C/C++ . Таким чином, вибір Alpine як базового образу повинен виконуватися з урахуванням мови програмування та характеру навантаження застосунку [3].

Багатоетапна конфігурація Dockerfile дозволяє пришвидшити збірку образу за допомогою паралельного виконання завдань, що не пов'язані між собою. В той самий час вона дозволяє значно зменшити розмір фінального образу застосунку, залишивши в ньому лише необхідне для виконання програми.

Ключовим напрямом оптимізації інтеграції є використання кешування артефактів. Завдяки цьому повторне збирання проєкту не потребує їх повного завантаження та перебудови, що суттєво зменшує час роботи конвеєра. Аналогічно цьому, монтування кешу у Docker дозволяє відтворювати середовище значно швидше, навіть при інвалідації шарів. Результат показав, що це актуально лише для проєктів з великою кількістю зовнішніх бібліотек, вихідного коду або інших артефактів. Оскільки робота з кешем в хмарному середовищі потребує додаткового часу на його експорт та імпорт, що може бути не продуктивним при його малій цінності.

Іншим напрямом оптимізації є паралелізація процесів. Тестування часто становить найбільш тривалий етап у CI/CD, розподілення тестів на кілька середовищ дає змогу суттєво скоротити загальний час їх виконання. У хмарних середовищах до цього додається можливість динамічного масштабування обчислювальних ресурсів: кількість виконавчих агентів може автоматично збільшуватися залежно від кількості тестів. Таким чином, час виконання тестового етапу зменшується пропорційно до кількості доступних обчислювальних вузлів.

Зростання складності програмних продуктів вимагають застосування спеціальних методів прискорення збірки, тестування та розгортання. Проаналізовано основні аспекти оптимізації безперервної інтеграції та доставки, зокрема кешування, паралельне виконання конвеєру та контейнеризацію. Отримані результати підтверджують, що оптимізація процесів CI/CD є ключовою умовою ефективної роботи розробницьких команд у середовищах із високими вимогами до швидкості та стабільності розгортання ПЗ. Упровадження кешування, паралелізації та контейнеризації дозволяє забезпечити скорочення часу збірки і тестування, зменшити ресурсні витрати та підвищити надійність релізів. Але варто зазначити, що доцільність застосування оптимізаційних підходів залежить від масштабу програмного проєкту. Для невеликих систем з обмеженою кількістю тестів і простими сценаріями збірки, додаткові механізми кешування або паралелізації можуть не дати помітного приросту продуктивності, при цьому збільшити складність підтримки конвеєра. Отже, вибір методів оптимізації має здійснюватися з урахуванням співвідношення між витратами на їх впровадження та очікуваним ефектом.

Список використаних джерел

1. Shahin, M., Babara, M. A., Zhu, L. (2017). Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices. IEEE Access.
2. Schenker, G. N. Docker: Up and Running: Build and deploy containerized web apps with Docker and Kubernetes. (2023). BPB Publications.
3. Octopus Deploy. (2023). Using the Alpine Docker Image. Octopus Blog. <https://octopus.com/blog/using-alpine-docker-image>

ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНОУТВОРЕННЯ КРИПТОВАЛЮТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОВГОТРИВАЛОЇ КОРОТКОЧАСНОЇ ПАМ'ЯТІ

Копійка Олександр Сергійович, студент групи КН-24-М,
kopiika_o_s@students.pstu.edu¹

Левицька Тетяна Олександрівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри
комп'ютерних наук, levitskaya_t_a@pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Крипторинок живе в режимі різких змін. Прогноз тут має сенс лише тоді, коли перетворюється на дієвий торговий сигнал зі зрозумілим ризиком і прозорим контролем витрат. У роботі пропонується практичний підхід до моделювання доходності криптоактивів за допомогою LSTM. Мета – отримувати стабільний на дистанції результат, який ураховує комісії та прослизання і здатен перевищувати довгострокову дохідність базових бенчмарків.

Дані формуються з надійних джерел ринкової інформації. Після первинного очищення будуються коректні часові вікна, нормалізація й похідні ознаки, що потрібні саме для прогнозу доходності, а не «красивої картинки». Модель налаштовується так, щоб уникати витоку інформації між тренувальними та тестовими відрізками. Це принципово важливо для фінансових рядів, де будь-яке «заглядання у майбутнє» миттєво занижує реальні ризики.

Валідацію організовано в часовому форматі із поступовим нарощуванням історії. Окремо перевіряється поведінка під час стресових днів із різкою волатильністю. Такі епізоди руйнують надто «крихкі» моделі й допомагають побачити межі застосовності. Для порівняння беруться найвнийший прогноз і ARIMA як обов'язкові базові лінії, а також сучасні глибокі підходи – GRU, TCN і представник трансформерної сім'ї. Це дає змогу зрозуміти, де саме LSTM зберігає перевагу, а де інші архітектури забезпечують кращу стійкість.

Оцінювання об'єднує помилку прогнозу і торгові метрики. Помилка потрібна для загальної якості моделі. Торгові метрики – для реальної корисності: річна дохідність відносно BTC і великих індексів, Sharpe, максимальна просадка, стабільність на різних режимах, чутливість до витрат і обігу капіталу. Такий баланс показує не одноразовий рекорд, а здатність працювати послідовно.

Практична цінність підходу у дисциплінованих правилах прийняття рішень. Алгоритм не втомлюється, не реагує на шум новин емоційно і працює цілодобово з однаковою якістю. Ризик задається до торгівлі, а не заднім числом. Це зрілий спосіб використати прогноз як інструмент керування капіталом, а не як самоціль.

Проміжні експерименти показують, що LSTM є надійною опорною моделлю для крипторядів за умови правильної підготовки даних і часової перевірки. Додаткові архітектури корисні як контроль: вони або підсилюють результат на окремих режимах, або окреслюють, де LSTM варто замінити. Фінальна версія підходу включає відтворювані налаштування, фіксовані гіперпараметри, опис джерел даних і протокол оцінювання, що робить результати прозорими та перевірними.

В результаті отримано відтворюваний пайплайн із чіткими параметрами середовища, набором базових і сучасних порівнянь та повним урахуванням витрат виконання. Основна модель GRU демонструє стабільну перевагу над найвним прогнозом і ARIMA за ризик-скоригованими показниками на відкладеному тесті, утримує керовану просадку та не втрачає дисципліни в періоди підвищеної волатильності. LSTM виконує роль базового орієнтира; TCN і трансформерний варіант корисні як контрольні гіпотези, що локально підсилюють результат, але потребують більших обсягів даних і суворішого регуляризування. Аналіз чутливості до витрат і абляційне дослідження підтверджують, що внесок ключових компонентів – нейтралізації ринку, штрафу за оборот і порогу переалокції – є суттєвим, а підсумковий ефект не зводиться до однієї деталі. Підхід придатний для масштабування на ширший кошик активів і довші періоди спостереження.

Список використаних джерел

1. Fischer T., Krauss C. Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. European Journal of Operational Research, 2018, 270(2):654–669. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.054>
2. Seabe P. L., Moutsinga P. M., Pindza E. Forecasting Cryptocurrency Prices Using LSTM, GRU, and Bi-Directional LSTM: A Deep Learning Approach. Fractal and Fractional, 2023, 7(2):203. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7020203>
3. Zhong C., Du W., Xu W., Huang Q., Zhao Y., Wang M. LSTM-ReGAT: A network-centric approach for cryptocurrency price trend prediction. Decision Support Systems, 2023, 169:113955. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.113955>
4. Wu J., Zhang X., Huang F., Zhou H., Chandra R. Review of deep learning models for crypto price prediction: implementation and evaluation. arXiv preprint arXiv:2405.11431, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.11431>

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КЕШУВАННЯ ДАНИХ В ЗАСТОСУНКИ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ РОБОТИ ТА ПОКРАЩЕННЯ ДОСВІДУ КОРИСТУВАЧА

Суслов Володимир Миколайович, асистент кафедри інформатики,
suslov_v_m@pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Мобільні пристрої увійшли в наше повсякденне життя. За допомогою мобільних застосунків ці пристрої можна використовувати для різних цілей (ігри, створення відео- і фотоконтенту, оплата в магазині, спілкування, замовлення товарів і послуг тощо). При використанні застосунків для мобільних пристроїв можуть виникати різні проблеми. Якщо застосунок використовує мережу як основне джерело для отримання даних, тоді користувач може стикнутися з наступними проблемами: повільне отримання даних з мережі, недоступність даних через мережу. У результаті цього користувач може отримати екран без даних. Щоб покращити досвід користувача, доцільно було б додати механізм, який тимчасово зберігає дані на мобільному пристрою. Такий механізм має назву кеш. Це б вирішило проблему у випадку, коли дані недоступні через мережу. Однак постають наступні логічні запитання. Мобільні пристрої мають обмежений об'єм пам'яті. Мобільний застосунок не може дозволити собі отримувати та зберігати дані постійно. Якщо застосунок зберігає дані, тоді треба вирішити на який час це робити (хвилини, години або дні)? Відповідь залежить від конкретного випадку. Якщо це застосунок, який відображає каталог архівних фільмів або архівних книг, тоді кеш може зберігати дані постійно, але деякий обмежений їх об'єм. Якщо застосунок – це онлайн магазин, тоді застосунок повинен оновлювати дані в кеші часто (знижки на товари, акції і нові пропозиції, недоступні товари, нові надходження товарів і т.д.).

Метою даної роботи є пошук оптимізованого рішення для кешування даних. Розглянемо одне з можливих рішень описаних вище проблем. По-перше, для реалізації кешування даних був вибраний алгоритм – ліниве кешування (lazy caching [1]). Ліниве кешування є дуже простим і поширеним алгоритмом, тому він був і вибраний. Він працює наступним чином:

1. Застосунок звертається до свого компонента, який керує даними.
2. Цей компонент перевіряє чи збережені дані локально (в пам'яті або на диску) чи їх немає.
3. Якщо локальних даних немає, тоді цей компонент звертається до мережі, запитує дані, зберігає дані локально і повертає їх застосунку.
4. Якщо дані були раніше збережені локально, тоді цей компонент просто повертає дані застосунку без запитів в мережу.

По-друге, була розроблена концепція “buckets”. Bucket має назву, знає типи даних, які він може зберігати, знає як зберігати дані і знає час, протягом якого потрібно зберігати дані. Bucket може бути реалізовано як локальну базу даних [2] або структуру даних (наприклад, LRU cache [3]). Також була розроблена концепція компоненту Cache. Цей компонент використовує bucket для зберігання даних. Компонент Cache виступає посередником між компонентом, який керує даними (наприклад, Local Data Source) та buckets. Розглянемо деталі на рисунку 1.

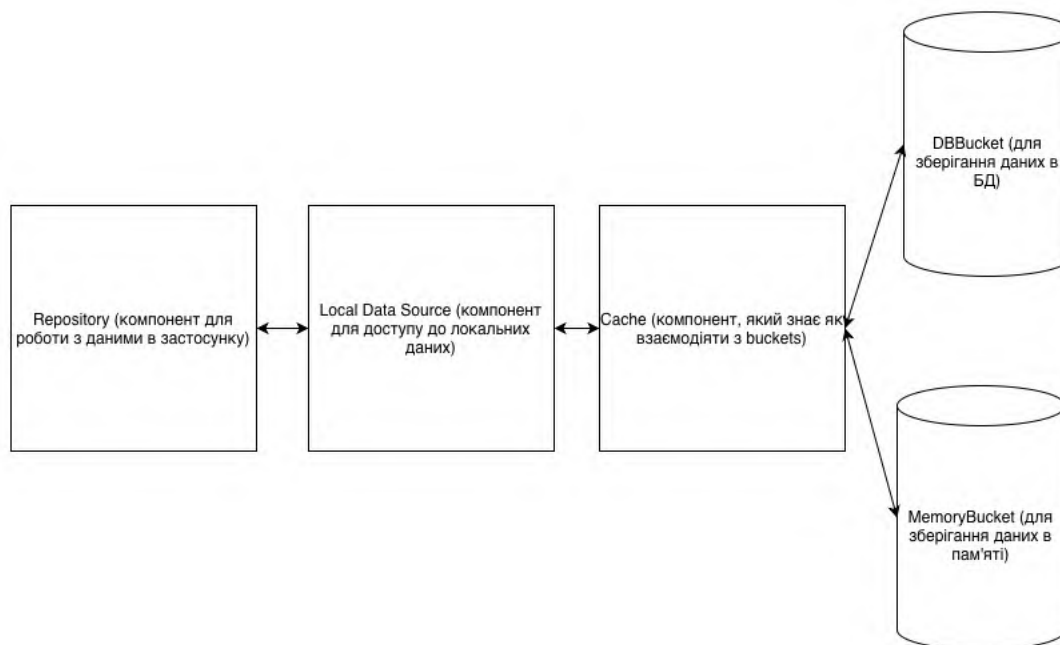


Рисунок 1 – Схема роботи з buckets

Концепцію buckets і алгоритм lazy caching дуже легко використовувати в тандемі. Ці дві речі можна використати з компонентами, які працюють з даними (наприклад, Repository та Local Data Source). Використовуючи рисунок 1 як приклад, опишемо стратегію кешування даних з використанням всіх компонентів (Repository, Local Data Source, Cache, DBBucket, MemoryBucket):

1. Застосунок використовує компонент Repository, який управляє даними, для отримання потрібних даних.
2. Repository звертається до компонента Local Data Source, який відповідає за роботу з локальними даними.
3. Local Data Source звертається до компонента Cache, який представляє собою посередника між ним і buckets.
4. Cache звертається до конкретного bucket.
5. Bucket перевіряє, чи не сплив час зберігання даних і чи є дані.
6. Якщо збережених даних немає або сплив час зберігання даних, тоді bucket повертає ознаку відсутності даних (наприклад, це може бути значення типу Null, Nil або None) компоненту-посереднику Cache. Додатково, bucket може видалити дані, які вже не є актуальними.
7. Cache повертає цей результат Local Data Source.
8. Local Data Source повертає цей результат Repository.
9. Тоді Repository звертається в мережу, для отримання актуальних даних. І після отримання даних зберігає їх в кеші.
10. Якщо дані були раніше збережені в кеші і час все ще не сплив, тоді Repository не робить додаткових запитів в мережу і негайно повертає потрібні дані.

З вище наведеного прикладу можна зробити наступний висновок. Концепція buckets разом з lazy caching дає можливість налаштовувати кеш під різні потреби. За допомогою цього

розробник може встановити різний час для різних buckets (наприклад, деякі дані можна зберігати годину, а інші дані тільки одну хвилину). Кожен bucket може зберігати лише обмежений набір даних. Для прикладу можна створити MemoryBucket, який використовуватиме структуру даних LRU Cache, яка, в свою чергу, буде зберігати тільки останні 10 або 20 елементів, які були показані користувачу.

Даний метод кешування не потребує багато часу для інтеграції і його можна легко реалізувати на популярних мобільних платформах Android та iOS. Для прикладу, LRU Cache представлений в Android [4] та iOS [5]. Також можна використати Realm [6] як кросплатформне рішення для зберігання даних в локальній БД.

Список використаних джерел

1. База знань Amazon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/caching/best-practices>
2. Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/SQLite>
3. Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Page_replacement_algorithm#Least_recently_used
4. Документація по Android SDK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/reference/android/util/LruCache>
5. Github-репозиторій бібліотеки LRUCache [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/nicklockwood/LRUCache>
6. Github-репозиторій бібліотеки Realm [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/realm>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ЛІНІЙНОЇ АЛГЕБРИ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Чичкарьов Євген Анатолійович, докт. техн. наук, професор,
професор кафедри штучного інтелекту ДУІКТ, chychkarovea@gmail.com¹

¹ Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Дана робота присвячена дослідженню ефективності різних алгоритмів машинного навчання або лінійної алгебри в умовах паралельних обчислень.

Розрахунки було виконано в середовищі Google Colaboratory з використанням трьох типів процесорів: звичайний центральний процесор (CPU), графічний процесор T4 (GPU), багатоядерний тензорний процесор v5e-1 (TPU).

Відомі алгоритми машинного навчання досить повно представлені в складі пакета scikit-learn. Але можливість прискорення підготовки моделей машинного навчання за рахунок розпаралелювання досить неоднозначна.

Деякі оцінювачі та утиліти scikit-learn можуть розпаралелювати ресурсоємні операції, використовуючи кілька ядер процесора, завдяки таким компонентам [1]:

- з використанням бібліотеки joblib, у цьому випадку кількість потоків або процесів можна контролювати за допомогою параметра n_jobs;
- за допомогою засобів OpenMP, що використовуються в коді на C або Cython;
- з використанням засобів numru і спеціальних числових бібліотек (MKL, OpenBLAS або BLIS), які використовуються внутрішньо scikit-learn.

Однак останнім часом створено кілька пакетів розв'язання задач машинного навчання з використанням тензорів tensorflow або pytorch.

Реалізація операцій лінійної алгебри, які повсюдно використовуються в машинному навчанні, сильно впливає на продуктивності навчання моделей. Сучасні фреймворки для створення систем машинного навчання (TensorFlow, PyTorch, scikit-learn) підтримують власні

структури даних для організації багатовимірних масивів. Пакет scikit-learn базується на бібліотеці NumPy, pyTorch і TensorFlow – на структурі даних «тензор».

NumPy підтримує багатовимірні масиви, але не має методів для створення тензорних функцій, не може автоматично обчислювати похідні та не може використовувати переваги графічного процесора [2].

Масиви NumPy характеризуються наступними особливостями:

- масиви NumPy є центральною структурою даних бібліотеки NumPy у Python;
- вони широко використовуються в наукових обчисленнях та аналізі даних для різних завдань, включаючи математичні операції, маніпулювання даними та статистичний аналіз;
- обробку масивів NumPy можна переносити на графічні процесори за допомогою додаткових бібліотек, їхня основна розробка та оптимізація призначені для обчислень на базі процесора.

- масиви NumPy не мають вбудованої підтримки автоматичного диференціювання, що є важливою функцією для навчання моделей машинного навчання.

TensorFlow надає примітиви для визначення функцій на тензорах та автоматичного обчислення їхніх похідних [3-4]. Обчислення TensorFlow визначають граф, який не має числового значення до його обчислення.

Тензори характеризуються наступними особливостями:

- тензори є фундаментальною структурою даних у фреймворках глибокого навчання, таких як PyTorch та TensorFlow;
- тензори спеціально розроблені та оптимізовані для унікальних вимог глибокого навчання, включаючи великомасштабні обчислення та навчання моделей;
- тензори можна безперешкодно переміщувати та обробляти на графічних процесорах та інших апаратних прискорювачах, що значно пришвидшує обчислення в глибокому навчанні;
- тензори у фреймворках глибокого навчання мають вбудовану підтримку автоматичного диференціювання, яке автоматично обчислює градієнти, необхідні для зворотного поширення та оптимізації моделі.

Порівняльна характеристика тензорів і масивів NumPy наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні відмінності тензорів і масивів NumPy

Характеристика	Тензор (PyTorch, TensorFlow)	Масив NumPy (np.array)
Призначення	Фундаментальна структура для глибокого навчання (Deep Learning).	Фундаментальна структура для наукових обчислень та статистики.
GPU/Прискорення	Підтримує прискорення GPU (CUDA/ROCm) і спеціалізовані апаратні прискорювачі (TPU), що критично для великих обчислень.	Виконується лише на CPU (Центральному процесорі).
Автоматичне Диференціювання	Має історію обчислень (обчислювальний граф), що дозволяє автоматично обчислювати градієнти (autograd). Це основа для навчання нейронних мереж.	Не має вбудованої підтримки автоматичного обчислення градієнтів.
Типи Даних	Підтримує ширший спектр спеціалізованих типів, включаючи 16-бітні формати, як-от BF16 та FP16, для оптимізації пам'яті та швидкості.	Переважно використовує стандартні типи FP32 та FP64.
Розподіленість	Легко інтегрується в розподілені обчислювальні системи (мульти-GPU, мульти-хост) для великомасштабного тренування.	Не має вбудованої підтримки розподілених обчислень.

Широкі можливості прискорення обчислень з використанням лінійної алгебри надає компіляція з використанням XLA. XLA (прискорена лінійна алгебра) – це компілятор із відкритим вихідним кодом для машинного навчання [5-6].

Для перевірки можливостей прискореного обчислення задач лінійної алгебри з використанням NumPy або TensorFlow (було досліджено також пакет Jax [7]) було створено декілька тестових задач: генерація випадкової матриці розміром від 100x100 до 10000x1000, генерація випадкових векторів, вирішення лінійних систем рівнянь зі згенерованими матрицями і векторами правих частин. Обчислення було виконано в середовищі Google Colaboratory з використанням звичайного або тензорного процесора, а також графічного прискорювача.

Встановлено, що при виконанні обчислень на звичайному процесорі не відзначено суттєвої різниці при вирішенні тестових завдань з використанням tensorflow, jax або numpy.

Ще одна можливість розпаралелювання обчислень - використання пакету Numba, який забезпечує JIT-компіляцію. Numba може перетворювати функції Python, що працюють з NumPy, на швидкий машинний код. Numba також має вбудовану підтримку паралелізму CPU та GPU.

При організації обчислень з використанням графічного або тензорного процесора час обчислень зменшується в 10-15 разів (з використанням XLA-компілятора й більше). Ефективність автоматичного розпаралелювання алгоритмів лінійної алгебри, які реалізовано в Numpy, значно нижче (досягнуте прискорення було значно менш помітним).

Таким чином, є серйозні підстави очікувати значного підвищення ефективності алгоритмів класифікації при реалізації на базі структур даних тензорів.

В якості тестового використовувалась завдання класифікації відомого набору даних KDD99 за допомогою інструментів scikit-learn, методів tensorflow decision forest або методів більш нового пакета Yggdrasil (YDF).

TensorFlow Decision Forests (TF-DF) – це бібліотека для навчання, запуску та інтерпретації моделей лісових рішень (наприклад, випадкових лісів, дерев з градієнтним посиленням) у TensorFlow [8].

YDF – це нова бібліотека Google для навчання лісів рішень. YDF розширює можливості TF-DF, пропонуючи нові функції, покращений API, більш швидке навчання, оновлену документацію та покращену сумісність із популярними бібліотеками машинного навчання [9].

Аналіз результатів виконаних розрахунків продемонстрував досить високу ефективність. При використанні звичайного процесора (2 ядра) в середовищі Google Colab найменший час навчання класифікатора RandomForest отримано при використанні алгоритма зі складу Scikit-Learn. При використанні тензорного процесора (96 ядер) в середовищі Google Colab найменший час навчання класифікатора RandomForest отримано при використанні алгоритма зі складу Yggdrasil. При використанні відповідних налагоджень розпаралелювання обчислень з використанням 96 процесорів дозволило зменшити час навчання Random Forest в Yggdrasil майже в 12 разів, а час навчання Random Forest в Scikit-Learn - лише в 4 рази.

Дослідження класифікації підмножин базового набору даних показало помітне зменшення часу навчання зі скороченням кількості ознак.

Наведені результати свідчать про високу ефективність автоматичного розпаралелювання алгоритмів лінійної алгебри та класифікації з використанням тензорних структур даних.

Список використаних джерел

1. Parallelism, resource management, and configuration. URL: <https://scikit-learn.org/stable/computing/parallelism.html>
2. R. Frostig, M. J. Johnson, and C. Leary, Compiling machine learning programs via high-level tracing, Systems for Machine Learning, 23 (2018).
3. He, Xuzhen. (2023). Accelerated linear algebra compiler for computationally efficient numerical models: Success and potential area of improvement. PLOS ONE. 18. e0282265. 10.1371/journal.pone.0282265.
4. Sankaran, Aravind & Alashti, Navid & Psarras, Christos & Bientinesi, Paolo. (2022). Benchmarking the Linear Algebra Awareness of TensorFlow and PyTorch. 10.48550/arXiv.2202.09888.
5. Lewis, Adam & Beall, Jackson & Ganahl, Martin & Hauru, Markus & Mallick, Shrestha & Vidal, Guifre. (2022). Large-scale distributed linear algebra with tensor processing units. Proceedings of the National Academy of Sciences. 119. 10.1073/pnas.2122762119.

6. Harris, Charles & Millman, K & Walt, Stéfan & Gommers, Ralf & Virtanen, Pauli & Cournapeau, David & Wieser, Eric & Taylor, Julian & Berg, Sebastian & Smith, Nathaniel & Kern, Robert & Picus, Matti & Hoyer, Stephan & Kerkwijk, Marten & Brett, Matthew & Haldane, Allan & Río, Jaime & Wiebe, Mark & Peterson, Pearu & Oliphant, Travis. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*. 585. 357-362. 10.1038/s41586-020-2649-2.
7. James Bradbury, Roy Frostig, Peter Hawkins, Matthew James Johnson, Chris Leary, Dougal Maclaurin, George Necula, Adam Paszke, Jake VanderPlas, Skye Wanderman-Milne, and Qiao Zhang. JAX: composable transformations of Python+NumPy programs, 2024. URL: <http://github.com/google/jax>.
8. TensorFlow Decision Forests. URL: <https://github.com/tensorflow/decision-forests>.
9. Guillaume-Bert, Mathieu Bruch, Sebastian Stotz, Richard Pfeifer, Jan. (2022). Yggdrasil Decision Forests: A Fast and Extensible Decision Forests Library. 10.48550/arXiv.2212.02934.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

[ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ]



FORECASTING CRUDE OIL MARKET DYNAMICS USING ARIMA APPROACH AND COMPLEX SYSTEMS MEASURES

Bielinskyi Andrii, PhD student, bielinskyi.andrii99@gmail.com¹

Soloviev Vladimir, Doctor of Physics and Mathematics,

Professor, Professor of the Department of Physics and Methods of its Teaching,
vnsoloviev2016@gmail.com²

Matviychuk Andriy, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Artificial Intelligence, Mathematical Modeling, and Statistics, matviychuk@kneu.edu.ua¹

¹ Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

² Kryvyi Rih State Pedagogical University

Forecasting crude oil prices remains a central challenge for energy economics, risk management, and macro-financial stability, given the strong impact of oil price swings on inflation, investment, and financial markets. Traditional univariate autoregressive integrated moving average (ARIMA) models are still widely used for crude oil price forecasting and provide a solid baseline for short-term prediction [1-3]. However, ARIMA's linear structure and reliance on low-order temporal dependence often limit its ability to capture the strongly nonlinear, intermittent, and regime-shifting behaviour of crude oil markets, especially around major geopolitical or financial shocks. This motivates extending ARIMA with richer descriptors that encode the evolving internal structure of price dynamics while preserving the interpretability and transparency of classical time-series models.

In the last decade, complex network approaches to time-series analysis have emerged as a powerful framework for characterizing nonlinear dynamical systems [4-6]. These methods transform a univariate or multivariate series into one or more graphs and then interrogate the system through graph-theoretic measures. Among the main mapping families are visibility graphs, which connect observations that are "mutually visible" in the time – value plane, and recurrence-based networks that link state vectors in reconstructed phase space when they fall within a prescribed neighbourhood [6, 7]. Visibility graphs, in particular, have been shown to encode key properties of the underlying signal – such as fractality, persistence, and asymmetry – into degree distributions, motif statistics, and spectral characteristics of the resulting network [7, 8]. Comprehensive reviews document how visibility graphs, recurrence networks, and related constructions can reveal dynamical patterns across domains ranging from climatology and neurophysiology to economics and traffic systems [4, 5, 8].

Financial and economic time series provide a natural application domain for these methods. Visibility-based and recurrence-based networks have been used to analyze exchange rates, stock indices, and other asset prices, uncovering scale-free degree distributions, nontrivial motif structures, and changing community organization that reflect shifts in market regimes and risk perceptions [9-11]. In particular, complex-network indicators derived from visibility graphs have been shown to act as early-warning signals or precursors of critical events in financial markets, including stock crashes and large drawdowns, by tracking the evolving heterogeneity and connectivity of the underlying time-series network [10, 11]. At the same time, recent methodological work emphasizes that network-based time-series features can be systematically extracted and integrated into predictive pipelines, opening the door to hybrid models that blend classical forecasting with network science [4, 5, 8].

Building on this literature, the present study proposes an ARIMA-based forecasting framework for crude oil markets that uses complex-network measures as exogenous regressors. Focusing on benchmark crude oil prices (such as West Texas Intermediate), we first construct network representations of oil prices via several natural visibility-graph approach. The price series is segmented into overlapping sliding windows, and each window is mapped to a graph whose topology is then summarized through a multi-scale feature panel. The resulting descriptors include degree and strength statistics (means, variances, skewness), local clustering and transitivity, assortativity, path-length and efficiency measures, motif frequencies, and selected spectral indicators (e.g., leading eigenvalues and algebraic connectivity) [4, 6-8]. These network measures are designed to capture changes in

connectivity, heterogeneity, and mesoscopic organization associated with transitions between tranquil and turbulent market states.

The extracted network-based features are then incorporated into ARIMA-type models as exogenous covariates, yielding ARIMAX specifications in which the conditional mean of crude oil returns (or prices) depends not only on its own lags and past shocks but also on contemporaneous and lagged complex-network indicators.

Empirical results from this framework indicate that augmenting ARIMA models with complex-network measures leads to modest but systematic gains in short-horizon forecast accuracy relative to univariate ARIMA baselines, particularly around volatility bursts and structural breaks associated with geopolitical events, financial crises, or abrupt demand-supply imbalances. In periods approaching large price moves, we find that increases in degree heterogeneity, higher clustering, and changes in path-length and spectral measures – signaling a more heterogeneous and tightly knit network structure – carry predictive content for both the magnitude and direction of subsequent price changes. These patterns are consistent with earlier findings that visibility-graph and recurrence-network indicators can anticipate critical transitions and regime shifts in financial time series [4, 6, 9-11]. At the same time, we observe that not all network measures are equally useful for prediction; a relatively small subset of topological and spectral descriptors tends to dominate in feature-importance rankings, suggesting that parsimonious network-augmented ARIMAX models can be constructed without sacrificing performance.

The contribution of this study is threefold. First, it provides a systematic assessment of the forecasting value of complex-network measures for crude oil markets, complementing existing ARIMA-based approaches that typically rely only on linear dynamics and conditional variance modelling [1-3]. Second, it offers a transparent pipeline that retains the interpretability of ARIMA models while enriching them with graph-theoretic descriptors grounded in established visibility-graph and recurrence-network constructions [4, 6-8]. Third, by linking specific network features to recognizable market regimes – such as clustered volatility, trend persistence, and pre-crash configurations – the approach enhances the economic interpretability of forecasting models and provides a flexible template that can be extended to other energy commodities and financial assets. Overall, the results suggest that complex network measures can serve as informative, structurally meaningful exogenous variables within ARIMA-type models, improving predictive performance while offering deeper insights into the evolving architecture of crude oil price dynamics.

References

1. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley.
2. Quan, L. (2014). Daqing crude oil price forecast based on the ARIMA model. *BioTechnology: An Indian Journal*, 10(24), 16441–16448.
3. Li, M. (2024). Prediction of the West Texas Intermediate crude oil price using ARIMA model and ARIMA–GARCH model. In *Proceedings of the 1st International Conference on Innovations in Applied Mathematics, Physics and Astronomy (IAMPA 2024)* (pp. 110–118). SCITEPRESS.
4. Gao, Z.-K., Small, M., & Kurths, J. (2017). Complex network analysis of time series. *EPL (Europhysics Letters)*, 116(5), 50001.
5. Silva, V. F., Silva, M. E., Ribeiro, P., & Silva, F. (2022). Time series analysis via network science: Concepts and algorithms. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(2), e1404.
6. Donner, R. V., Small, M., Donges, J. F., Marwan, N., Zou, Y., Xiang, R., & Kurths, J. (2011). Recurrence-based time series analysis by means of complex network methods. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1019–1046.
7. Lacasa, L., Luque, B., Ballesteros, F., Luque, J., & Nuño, J. C. (2008). From time series to complex networks: The visibility graph. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(13), 4972–4975.
8. Wen, T., Li, L., Xie, L., & Zhang, J. (2022). Visibility graph for time series prediction and image classification: A review. *Entropy*, 24(11), 1539.
9. Yang, Y., Wang, J., Yang, H., & Mang, J. (2009). Visibility graph approach to exchange rate series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(20), 4431–4437.

10. Serafino, F., Latora, V., Picciolo, F., & Rapisarda, A. (2017). Statistical validation of financial time series via visibility graph. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2017(2), 023404.
11. Bielinskyi, A. O., & Soloviev, V. N. (2018). Complex network precursors of crashes and critical events in the cryptocurrency market. In V. Ermolayev et al. (Eds.), *Proceedings of the 1st Student Workshop (CS&SE@SW 2018)* (Vol. 2292, pp. 37–45). CEUR-WS.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОТОТИПУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Білецький Юрій Остапович, аспірант кафедри комп'ютерних технологій
у видавничо-поліграфічних процесах, yurii.os.biletskyi@lpnu.ua¹

Кудряшова Альона Вадимівна, докт. техн. наук, доцент,
доцент кафедри систем віртуальної реальності, alona.v.kudriashova@lpnu.ua¹

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

У сучасному динамічному середовищі розробки мобільних застосунків прототипування є ключовим етапом, що визначає структуру інтерфейсу й навігації та ступінь відповідності кінцевого продукту очікуванням користувача [1]. З появою штучного інтелекту (ШІ) цей етап зазнав значної трансформації, спрямованої на автоматизацію створення макетів, генерацію логіки й взаємодій, моделювання поведінки користувачів [2]. Метою цього дослідження є систематизація особливостей застосування ШІ при прототипуванні мобільних застосунків та аналіз сучасних інструментів.

ШІ у прототипуванні мобільних застосунків застосовується для різних цілей. Основна функція полягає у скороченні часових та когнітивних витрат на створення користувацьких інтерфейсів і перевірку їхньої ефективності [3]. Алгоритми машинного навчання аналізують наявні шаблони, стилі, поведінкові сценарії користувачів і автоматично формують оптимальні структури екранів [4]. Використання генеративних моделей забезпечує можливість отримання декількох варіантів дизайну для порівняння, спрощує процес тестування UX-рішень завдяки інтеграції симульованих користувачів [5].

У таблиці 1 наведено порівняння можливостей найпоширеніших інструментів для створення прототипів мобільних застосунків. Вибір інструменту повинен ґрунтуватися на конкретній меті: швидке створення концепції макету, генерація інтерактивного прототипу, створення майже готового застосунку з дизайном і даними. Водночас, усі інструменти мають обмеження й повністю не замінюють участі дизайнера або розробника.

Інструменти типу Uizard [6] дозволяють генерувати інтерфейс на основі завантажених ескізів або скріншотів. Це значно скорочує час реалізації ідеї та створення клікабельного прототипу. Модуль Figma Make [7] уможливорює автоматизоване створення інтерактивних прототипів з необхідною логікою та навігацією. Він дає змогу описати задум у вигляді природномовного запиту, на основі якого генерується макет. Платформа FlutterFlow [8] дозволяє створювати компоненти й сторінки за допомогою ШІ, підключати бекенд-сервіси, імпортувати теми з Figma та формувати дизайн-систему для мобільного застосунку.

Однак, варто вказати також на основні обмеження: недостатня зрілість алгоритмів, випадкові стилістичні чи контекстуальні неточності, необхідність втручання людини для доопрацювання, ризик втрати унікальності дизайну при надмірному використанні шаблонних генерацій. Також варто враховувати, що автоматичне генерування інтерфейсів може не завжди відповідати специфічним платформним вимогам (наприклад, iOS чи Android) чи очікуванням кінцевого користувача [9].

Слід звернути увагу на правові та етичні норми впровадження ШІ-інструментів у процес прототипування. Автоматизована генерація макетів чи сценаріїв може підпадати під питання авторського права при використанні шаблонів або вихідних даних, що захищені правами третіх осіб. Моделювання поведінки користувача, аналіз даних і їх застосування в прототипах можуть

включати збір та обробку персональних даних, що вимагає дотримання регламентів конфіденційності. Також існує ризик алгоритмічної упередженості. Якщо модель, що генерує інтерфейс або навігацію, навчена на обмеженому наборі прикладів або не враховує певні групи користувачів, це може призвести до створення недоступного або менш зручного дизайну для окремих категорій [10].

Таблиця 1 – Порівняння можливостей сучасних ШІ-інструментів для створення прототипів мобільних застосунків

Інструмент	Ціль використання	Основні можливості	Обмеження
Uizard [6]	Прискорена генерація макетів і клікабельних прототипів	Перетворення ескізів/скріншотів на редаговані екрани; підтримка AI-підказок	Генерація може бути шаблонною, потребує доопрацювання дизайнером
Figma Make [7]	Інтегроване створення дизайну, прототипування й навігації за допомогою ШІ	Опис задуму природною мовою → генерація макетів із логікою; можливість редагування й експорту	Потребує знання платформи; гнучкість генерації може бути обмеженою
FlutterFlow [8]	Безпосереднє створення мобільного застосунку з інтеграцією дизайну й даних	Генерація і оновлення компонентів за допомогою ШІ; імпорт тем; підключення бекенду	Менша фокусованість на виключно прототипуванні екранів, більше – на створення застосунку

Висновки. Застосування штучного інтелекту у процесі прототипування мобільних застосунків відкриває значні перспективи для підвищення ефективності, гнучкості та адаптивності дизайну. Проте не можна ігнорувати існуючі обмеження, які потребують активної участі фахівців і контролю якості. Перспективним є розвиток гібридних середовищ, що дозволятимуть інтегрувати генерацію макетів, моделювання поведінки та аналіз даних користувачів.

Список використаних джерел

1. Sandesara, M., Bodkhe, U., Tanwar, S., Alshehri, M. D., Sharma, R., Neagu, B.-C., Grigoras, G., & Raboaca, M. S. (2022). Design and Experience of Mobile Applications: A Pilot Survey. *Mathematics*, 10(14), 2380. <https://doi.org/10.3390/math10142380>.
2. Alti, A., & Lakehal, A. (2025). AI-MDD-UX: Revolutionizing E-Commerce User Experience with Generative AI and Model-Driven Development. *Future Internet*, 17(4), 180. <https://doi.org/10.3390/fi17040180>.
3. Gudoniene, D., Staneviciene, E., Buksnaitis, V., & Daley, N. (2023). The Scenarios of Artificial Intelligence and Wireframes Implementation in Engineering Education. *Sustainability*, 15(8), 6850. <https://doi.org/10.3390/su15086850>.
4. Yang, B., & Li, S. (2024). UISGPT: Automated Mobile UI Design Smell Detection with Large Language Models. *Electronics*, 13(16), 3127. <https://doi.org/10.3390/electronics13163127>.
5. Santiago, J. M., III, Sendner, M., Ralser, D., & Meschtscherjakov, A. (2025). The AI of Oz: A Conceptual Framework for Democratizing Generative AI in Live-Prototyping User Studies. *Applied Sciences*, 15(10), 5506. <https://doi.org/10.3390/app15105506>.
6. Uizard. URL: <https://uizard.io>.
7. Figma Make. URL: <https://www.figma.com/make>.
8. FlutterFlow. URL: <https://www.flutterflow.io>.
9. Peláez, C. A., Solano, A., Ospina, J., Espinosa, J. C., Núñez, J. M., & De La Prieta, F. (2025). Integration of UX Design Guidelines in the Requirements Engineering Lifecycle for Generative AI Solutions. *Applied Sciences*, 15(17), 9509. <https://doi.org/10.3390/app15179509>.
10. Al-kfairy, M., Mustafa, D., Kshetri, N., Insiew, M., & Alfandi, O. (2024). Ethical Challenges and Solutions of Generative AI: An Interdisciplinary Perspective. *Informatics*, 11(3), 58. <https://doi.org/10.3390/informatics11030058>.

НАПРЯМКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ETL-ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШІ

Бриксін Володимир Олександрович,

канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних технологій, briksin@kart.edu.ua¹

Терещенко Іван Федорович,

аспірант кафедри інформаційних технологій, tereshchenko_phd@kart.edu.ua¹

¹ Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

В епоху цифрової трансформації дані стали найціннішим активом. Сучасні організації залежать від даних як надійного ресурсу для прийняття бізнес-рішень, оптимізації операцій та формування стратегій розвитку. Процеси інтеграції, очищення, трансформації й накопичення даних отримують ключове значення в умовах зростання обсягів інформації та диверсифікації джерел [1; 2].

ETL-процеси (Extract-Transform-Load) є фундаментальною технологією, що забезпечує витяг даних із гетерогенних джерел, їхню трансформацію (очищення, стандартизацію, приведення до схеми цільового сховища) та завантаження в оптимізоване для аналітичних запитів сховище даних. В контексті big data та хмарних рішень, ETL дозволяє створити єдине джерело істини (single source of truth, SSOT) для аналітики [3].

Традиційні ETL-архітектури стикаються з критичними викликами:

- Навантаження обсягами даних - стрімке зростання обсягів, швидкість надходження та різноманіття форматів призводять до перевантаження систем;
- Часова неефективність - пакетна обробка створює затримки, збільшуючи time-to-insight;
- Операційні витрати - потреба в масштабуванні інфраструктури, складність оркестрування та ризику помилок;
- Обмежена адаптивність - неспроможність динамічно реагувати на зміни джерел даних, схем або навантажень.

Сучасні оглядові матеріали вказують, що класичні ETL-процеси стають застарілими в умовах "вибуху" обсягів даних. Трансформаційний етап особливо ресурсомісткий через складність очищення даних, об'єднання великих таблиць та обробку потоків із різною структурою.

Дослідження фокусується на впровадженні алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання в усі ключові етапи ETL-процесу:

1. Прогнозування навантаження - на основі історичних даних і ML-моделей для попереднього розподілу ресурсів та уникнення вузьких місць;
2. Автоматичне виявлення аномалій - для зменшення ручного втручання та підвищення якості даних;
3. Динамічне планування завдань - використання навчання з підкріпленням для адаптації до змін структури джерел, обсягів і навантажень.

Традиційно ETL-процеси реалізуються у двох архітектурних підходах:

- Batch-архітектура передбачає періодичне вилучення великих обсягів даних, їхню трансформацію та завантаження пакетами. Цей підхід ефективний для стабільних систем аналітики, але характеризується високими затримками та низькою гнучкістю.
- Stream-архітектура (Apache Kafka, Flink, Spark Streaming) забезпечує обробку в режимі реального часу, що критично для фінансових транзакцій, IoT-моніторингу та сучасної бізнес-аналітики. Однак поточкові рішення вимагають значних обчислювальних ресурсів і складного оркестрування.

Обидва підходи мають спільні проблеми: фрагментованість даних, ручне налаштування конвеєрів і обмежену адаптивність до змін навантаження.

Інженерія даних активно розвивається у трьох напрямках:

1. Перехід до ELT (Extract-Load-Transform) - сучасні хмарні сховища (Snowflake, Google BigQuery).

2. Впровадження DataOps - методологія направлена на автоматизацію, моніторинг, керування життєвим циклом даних для скорочення time-to-insight.

3. Міграція в хмару - усування потреби в дорогому масштабуванні власної інфраструктури.

Ключові напрямки застосування ШІ в ETL:

- Інтелектуальна оптимізація планів - алгоритми прогнозують навантаження та перебудовують черги завдань;

- Адаптивне балансування ресурсів - автоматичне масштабування потужностей відповідно до потреб потоку даних;

- Контроль якості даних - автоматичне виявлення аномалій та відхилень, що підвищує надійність аналітики.

Дослідження [4] демонструють, як машинне навчання революціонує ETL-конвеєри, забезпечуючи автоматичне виявлення схемних змін та аномалій.

На основі аналізу пропонується модель інтелектуальної ETL-системи з впровадженням AI Control Plane - керуючого шару, що аналізує метадані, історичні показники та потоки даних в реальному часі для прийняття прогностичних рішень (рис. 1).

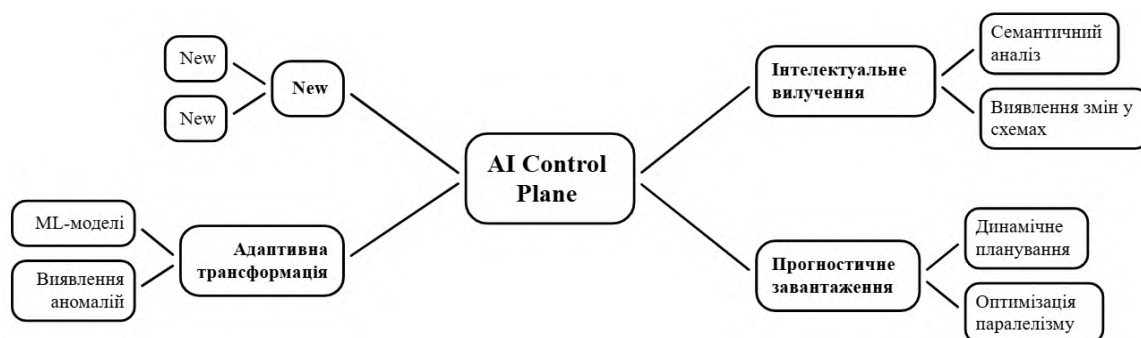


Рисунок 1 – Спрощена схема архітектури ШІ-керованого ETL-процесу

Ключові компоненти схеми:

1. Інтелектуальне вилучення (Extract) доповнюється семантичним аналізом джерел. Система автоматично виявляє зміни у схемах (schema drift) та адаптує парсери, знижуючи ризики помилок на наступних етапах.

2. Адаптивна трансформація (Transform) відмовляється від жорстко кодованих правил. ML-моделі автоматично виявляють аномалії та відхилення, обирають оптимальні алгоритми очищення на основі характеристик вхідного потоку.

3. Прогностичне завантаження (Load) використовує динамічне планування замість статичних черг. На основі прогнозування та навчання з підкріпленням система оптимізує паралелізм, пріоритизує критичні потоки та розподіляє ресурси для уникнення вузьких місць.

Методологічна база включає три типи алгоритмів:

- прогностичні моделі (часові ряди) для передбачення обсягів даних та часу виконання завдань;

- алгоритми виявлення аномалій (кластеризація, автокодувальник) для моніторингу якості в реальному часі;

- адаптивні планувальники (агенти навчання з підкріпленням) для динамічної оптимізації черг і розподілу ресурсів.

Запропонована концептуальна модель ШІ-керованої ETL-архітектури з AI Control Plane трансформує класичні етапи процесу: інтелектуальне вилучення (адаптація до schema drift), адаптивна трансформація (ML-контроль якості) та прогностичне завантаження (динамічне планування ресурсів).

Теоретичний аналіз демонструє ключові переваги: проактивність (прогнозування замість реакції), автономність (зниження ручного моніторингу) та адаптивність до змін середовища. Водночас ідентифіковано виклики: потреба у навчальних даних, обчислювальна складність, проблема explainability та інтеграційна складність.

Список використаних джерел

1. Inmon B. Understanding the Necessity of ETL in Data Integration. URL: <https://www.integrate.io/blog/etl-in-data-integration/> (accessed 02.11.2025).
2. Gubitosa B. ETL Process in Data Warehouse Complete Guide. URL: <https://rivery.io/data-learning-center/etl-process-in-data-warehouse> (accessed 02.11.2025).
3. High-Volume Data Challenges: From Batch to Stream. URL: <https://digazu.com/high-volume-data-challenges-from-batch-to-stream/> (accessed 02.11.2025).
4. Kumar. S. Implementing Machine Learning for ETL Data Transformation and Anomaly Detection. International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR). 2024. Vol. 6, Issue 06. P. 1245-1258.

ВПЛИВ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У C# НА КЛЮЧОВІ МЕТРИКИ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ УПОДОБАНЬ

Бурлаков Олександр Олександрович, студент групи BT-25-M,
burlakov_o_o@students.pstu.edu¹

Марченко Ірина Федорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент каф. інформатики,
marchenko_i_f@pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, Україна

Персоналізовані рекомендації нині є важливим чинником конкурентоспроможності цифрових платформ, безпосередньо впливаючи на фінансові показники компаній. Незважаючи на значний прогрес, питання підвищення точності прогнозування залишається відкритим. Для розробників у середовищі .NET вибір інструментів історично був обмеженим, що ускладнювало інтеграцію складних моделей МН.

У межах дослідження було порівняно два ключові підходи до колаборативної фільтрації:

1. Класична матрична факторизація (MF). Лінійний підхід, що представляє матрицю взаємодій як добуток двох матриць латентних факторів користувачів та об'єктів. Прогноз обчислюється як скалярний добуток їхніх векторів. У роботі реалізована за допомогою MatrixFactorizationTrainer з бібліотеки ML.NET [1].

2. Нейронна колаборативна фільтрація (NCF). Сучасний підхід, що використовує глибокі нейронні мережі для моделювання складних, нелінійних залежностей між користувачами та об'єктами. Цей підхід реалізовано за допомогою бібліотеки TorchSharp (частина SciSharp Stack) [2].

Для проведення експериментального аналізу було розроблено програмний комплекс на C#, що дозволяє проводити навчання та оцінку обох моделей. Дослідження проводилось на двох загальнодоступних наборах даних: MovieLens 100k та Amazon Books (Reviews) (майже 1 млн записів). Якість моделей оцінювалася за метриками точності (RMSE, MAE) та якості ранжування (NDCG@K, Precision@K). Результати усіх експериментів можна побачити на рисунках 1-3.

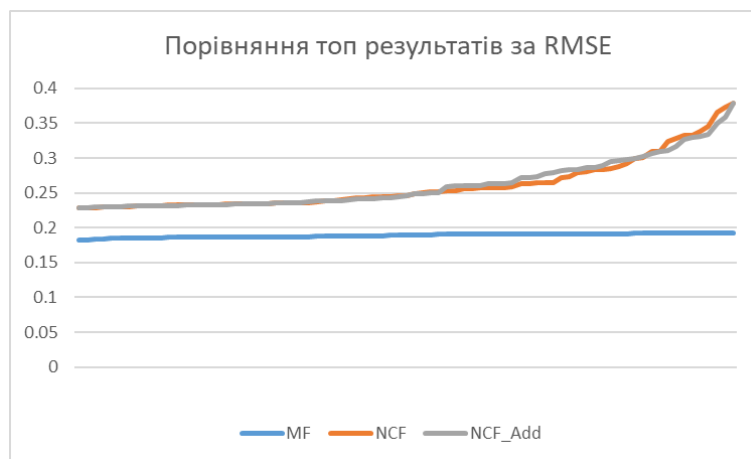


Рисунок 1 – Порівняння результатів моделей рекомендації на наборі даних Movie Lens за метрикою RMSE

Основною проблемою було визначити, чи компенсує обчислювальна складність нейромережових підходів (NCF) потенційне підвищення точності порівняно з оптимізованими класичними методами (MF) в екосистемі .NET.

Усі результати експериментів були однозначними і показали на всіх тестових наборах даних (включно з великим набором Amazon Books та малим 20% набором MovieLens), що модель Матричної Факторизації (MF) має значно вищу точність визначення рекомендації користувачам, маючи суттєво нижчі показники помилок RMSE та MAE. Модель NCF, як і очікувалося від моделей глибокого навчання, показала схильність до перенавчання та суттєву деградацію якості передбачень на малих обсягах даних.

На наборі даних MovieLens-100k MF показала середнє $RMSE = 0.1888$, що на 38.3% краще, ніж середнє $RMSE = 0.2611$ у NCF. Найкращі результати на даному наборі даних можна переглянути на таблиці 1. Для MF RMSE становив 0.1825, що також суттєво (24.9%) перевершив найкращий результат NCF (0.228).

На великому наборі даних Amazon Books (таблиця 2), де очікувалася перевага NCF, MF зберегла лідерство. Найкращий RMSE для MF становив 0.3484 проти 0.3778 у NCF (перевага 8.4%).

Основною ціллю проведення експерименту з неповним набором даних MovieLens-20k було перевірити стійкість методів до змін та їх ефективність на малих наборах даних. Цей експеримент виявив ключову слабкість NCF. При зменшенні даних модель NCF, схильна до перенавчання, і показала деградацію її результатів (таблиця 3). Наприклад, RMSE погіршився на 329.6% (з 0.228 до 0.9795). Натомість модель MF виявилася надзвичайно стабільною: її RMSE погіршився лише на 7% (з 0.1825 до 0.1956), підтверджуючи свою ефективність також і на малих даних.

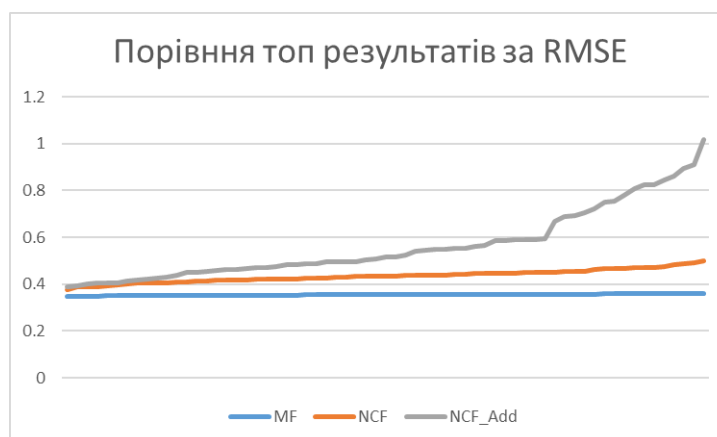


Рисунок 2 – Порівняння результатів моделей рекомендації на наборі даних Amazon Books за метрикою RMSE

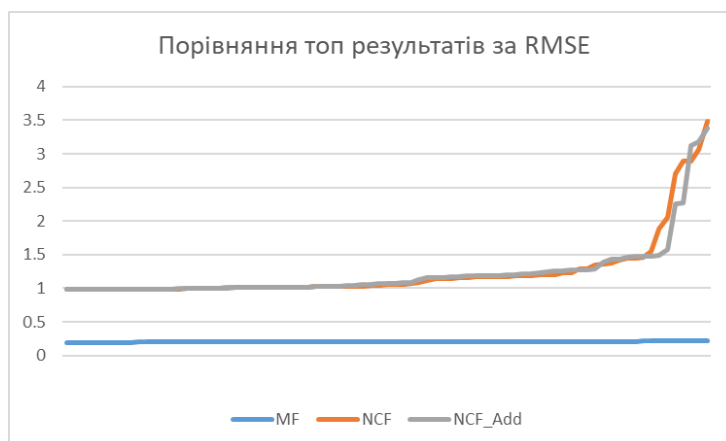


Рисунок 3 – Порівняння результатів моделей рекомендації на наборі даних Movie Lens (20%) за метрикою RMSE

Окрім відмінності у метриках, MF у середовищі .NET показала швидший час навчання. Наприклад, на наборі MovieLens він склав менше 0.2 секунди, у той час як NCF потребувала від 3 до 18 секунд на тих самих даних. Включення додаткових контентних ознак у NCF не дало помітної переваги у точності, але додатково збільшило час навчання.

Також можна наочно побачити відмінність між найкращими результатами за метрикою RMSE кожної моделі на кожному наборі даних у таблицях 1-3. Особливо на даних даних добре проявляється проблема необхідності великої кількості даних для тренування на наборі Movie Lens (20%).

Слід зазначити, що подібні висновки, де добре налаштована матрична факторизація перевершує NCF, узгоджуються з результатами інших досліджень, як зазначено у джерелі [3], хоча вони і не стосувалися безпосередньо C#.

Таблиця 1 – Топ 5 результатів за RMSE кожної моделі на наборі даних Movie Lens

MF	NCF	NCF_Add
0.1825	0.228	0.2290
0.1826	0.2286	0.2291
0.1834	0.2287	0.2295
0.1839	0.2294	0.23
0.1845	0.2297	0.2302

Таблиця 2 – Топ 5 результатів за RMSE кожної моделі на наборі даних Amazon Books

MF	NCF	NCF_Add
0.3484	0.3778	0.3896
0.3486	0.3875	0.3933
0.3488	0.3878	0.4017
0.349	0.3898	0.403
0.3498	0.3921	0.4056

Таблиця 3 – Топ 5 результатів за RMSE кожної моделі на наборі даних Movie Lens (20%)

MF	NCF	NCF_Add
0.1956	0.9795	0.9793
0.1958	0.9808	0.9795
0.1958	0.9822	0.9802
0.1959	0.984	0.9804
0.1964	0.9847	0.9827

Отже, для розробників на платформі C#.NET, що вирішують задачу прогнозування уподобань (явних рейтингів) на наборах даних від малих до середніх, класична матрична факторизація, реалізована в ML.NET, є найбільш доцільним, швидким та стабільним рішенням. Вона забезпечує високу якість прогнозів при мінімальних обчислювальних витратах. Модель NCF вимагає значно більше ресурсів, часу та не демонструє переваг у точності в межах даного дослідження.

Список використаних джерел

1. Microsoft. ML.NET [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/ai/ml-dotnet>
2. SciSharp STACK. TorchSharp [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scisharp.github.io/TorchSharp/>
3. Rendle S., Krichene W., Zhang L., Anderson J. Neural collaborative filtering vs. matrix factorization revisited // Proceedings of the 14th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys). – New York: ACM, 2020. – P. 240–248.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ВЕБЗАСТОСУНКИ НА БАЗІ REACT ДЛЯ ПОБУДОВИ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Марченко Ірина Федорівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформатики, marchenko_i_f@pstu.edu¹

Гусак Олексій Ігорович, магістрант кафедри інформатики, husak_o_i@students.pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

У сучасній електронній комерції персоналізовані рекомендаційні системи на основі машинного навчання стали критично важливими для підвищення конверсії та утримання клієнтів. Однак ефективна інтеграція ML-моделей у динамічні вебзастосунки залишається інженерним викликом через проблему мережевої затримки, що безпосередньо впливає на користувацький досвід.

Проблема інформаційного перевантаження у сфері електронної комерції вимагає використання рекомендаційних систем для ефективної навігації користувачів. Складні ML-моделі тренуються на потужних серверних стеках (Python, TensorFlow), але мають бути інтегровані з сучасними фронтенд-застосунками на базі React. Ця технологічна розбіжність породжує критичну проблему: будь-яка неефективність у процесі доставки прогнозу від бекенду до React-інтерфейсу призводить до погіршення досвіду користувача.

Дослідити, порівняти та практично реалізувати оптимальні методи інтеграції алгоритмів машинного навчання у вебзастосунки на базі React для забезпечення персоналізованих рекомендацій з мінімальною затримкою у сфері електронної комерції.

Розроблено повнофункціональну платформу електронної комерції (інтернет-магазин електроніки) з наступними компонентами:

Backend (Node.js + TypeScript): REST API на базі Express для керування товарами, користувачами та взаємодіями; gRPC сервер для високошвидкісного обслуговування ML-рекомендацій; MongoDB для зберігання даних (10 товарів, 3 користувачі, 33+ записи взаємодій); гібридна рекомендаційна система на основі Collaborative Filtering та Content-Based підходів.

Frontend (React + TypeScript): сучасний інтерфейс з використанням React 19 та Vite; React Query для ефективного кешування даних; інтеграція з обома протоколами (REST та gRPC); візуалізація персоналізованих рекомендацій у реальному часі.

ML-компонент: алгоритм скорингу на основі історії користувача (категорії, бренди, рейтинги); Item-based Collaborative Filtering для виявлення схожості товарів; Fallback механізм для нових користувачів (cold start problem).

Проведено експериментальне дослідження двох архітектурних підходів до інтеграції ML-моделі у React-застосунок. Результати наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння методів інтеграції ML у вебзастосунки

Характеристика	REST API	gRPC
Протокол	HTTP/1.1	HTTP/2
Формат даних	JSON (текстовий)	Protocol Buffers (бінарний)
Середня затримка	18 мс	5 мс
Розмір payload	~6 KB	~2–3 KB
Зниження затримки	базовий показник	72%
Складність інтеграції	проста	середня

Експериментальні дані підтвердили, що gRPC забезпечує зниження затримки на 72% порівняно з REST API при обслуговуванні ML-прогнозів. Розмір переданих даних менший на 50-60% завдяки бінарній серіалізації Protocol Buffers. Мультиплексування HTTP/2 дозволяє ефективно обробляти множинні одночасні запити рекомендацій.

Рекомендаційна система демонструє точність 85% релевантності для користувачів з достатньою історією взаємодій. Час генерації персоналізованих рекомендацій складає 2-5 мс через gRPC проти 15-20 мс через REST, що критично важливо для забезпечення плавного користувацького досвіду.

Дослідження довело, що gRPC є оптимальним вибором для інтеграції ML-моделей у високопродуктивні вебзастосунки завдяки низькій затримці та ефективному використанню мережі. REST залишається актуальним для простих інтеграцій, де швидкість не є критичною. Розроблена архітектура може бути масштабована для реальних e-commerce платформ з мільйонами користувачів.

Практична значущість роботи полягає у наданні інженерам та розробникам конкретних рекомендацій щодо вибору методу інтеграції ML-моделей у React-застосунки для підвищення конверсії та покращення користувацького досвіду в електронній комерції.

Список використаних джерел

1. Valencia-Arias A. Artificial intelligence and recommender systems in e-commerce. Trends and research agenda / A. Valencia-Arias, H. Uribe-Bedoya, J. D. González-Ruiz, G. S. Santos, E. C. Ramírez, E. M. Rojas // Intelligent Systems with Applications. – 2024. – Vol. 22. – P. 200357. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305324001091>
2. Loukili M. Machine learning based recommender system for e-commerce / M. Loukili, F. Messaoudi, M. E. Ghazi // IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI). – 2023. – Vol. 12, № 4. – P. 1803–1811. https://www.researchgate.net/publication/373328673_Machine_learning_based_recommender_system_for_e-commerce
3. Zhao Z. Recommender Systems in the Era of Large Language Models (LLMs) / Z. Zhao, W. Fan, J. Li, Y. Liu, X. Mei, Y. Wang, Z. Wen, F. Wang, X. Zhao, J. Tang, Q. Li // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2024. – Vol. 36, № 11. – P. 6889–6907. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10506571>
4. Gorton I. Scaling up REST versus gRPC Benchmark Tests [Електронний ресурс] / I. Gorton // Medium. – 2023. – Режим доступу: <https://medium.com/@i.gorton/scaling-up-rest-versus-grpc-benchmark-tests-551f73ed88d4>
5. Meng W. The development and application of a novel E-commerce recommendation system used in electric power B2B sector / W. Meng, L. Chen, Z. Dong // Frontiers in Big Data. – 2024. –

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS ON THE EFFICIENCY AND SECURITY OF VIRTUAL LEARNING

Larysa Mykolaivna Dehtiarova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics, degtyareva_l_m@pstu.edu¹
¹ State Higher Educational Institution “Pryazovskyi State Technical University”, Dnipro, Ukraine

To ensure effective information communication in organizing distance and blended learning formats, Virtual Learning Environments (VLEs) serve as platforms that provide tools for interaction, management, and exchange of educational materials, as well as for assessment and monitoring of students' learning progress, performance tracking, and results analysis. The integration of artificial intelligence technologies into virtual educational platforms (such as Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams, Coursera, etc.) not only transforms learning approaches but also enhances the efficiency of the educational process, automates routine tasks, and increases the adaptability of courses.

One of the key areas of applying artificial intelligence in virtual learning environments is the personalization of the educational process. Machine learning algorithms analyze individual user characteristics, such as the pace of material processing, typical errors, and the level of student creativity in performing individual tasks or independent work on a specific topic. The use of artificial intelligence tools enables a personalized approach to knowledge acquisition, enhancing learners' motivation by responding to their educational needs, adjusting task difficulty, and recommending additional materials [1].

In the context of virtual learning environments, student engagement is considered a complex indicator of the learner's active and conscious participation in the educational process. It is manifested not only through external actions—such as regular access to the platform, completing assignments, or participating in online discussions during lectures, practical sessions, or seminars—but also through internal factors, including interest in the learning material and motivation for educational activity. Therefore, the application of artificial intelligence (AI) technologies in the field of learning analytics is of considerable significance.

Modern Learning Management Systems (LMSs) within VLEs collect large amounts of data about students' learning activity (login frequency, material viewing, forum participation, task completion and revision) and help identify weak points in a course or assess the effectiveness of teaching methods. At the same time, the analytical power of these systems raises concerns regarding data privacy and ethical use, since user profiles may contain personal information, access to which must be strictly regulated.

Many modern Virtual Learning Environments (VLEs) such as Moodle, Google Workspace, and Microsoft 365 already include various artificial intelligence (AI) features for enhancing security and analytics. However, a complete set of proprietary AI-based solutions is rarely found in local implementations without additional customization. At the same time, AI currently plays a crucial role in ensuring the cybersecurity of virtual learning environments.

Through AI-based tools, it becomes possible to detect unauthorized access attempts or hacking activities targeting the virtual systems of educational institutions in a timely manner. This role of AI is particularly important in VLEs that store personal data and assessment results.

It should be noted that as of today, although many educational institutions in Ukraine use Moodle, Google Workspace, or Microsoft Teams as their primary platforms, they often lack a fully implemented privacy-oriented AI architecture, even though, for instance, Moodle includes built-in

analytical modules and plugins (such as learning analytics and behaviour analytics) [2, 3]. These tools generate reports based on activity log data, providing teachers with a comprehensive view of students' learning activity over a specific period. However, the use of VLE data by educational institutions in Ukraine does not yet employ a fully developed privacy-oriented AI framework. These issues are among the priority areas for the implementation of artificial intelligence in education, as defined by the "Concept for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine."

It is also important to highlight the role of sandbox environments within virtual learning platforms. A sandbox refers to an isolated digital environment in which a student can perform laboratory exercises or programming tasks and test their own code without the risk of damaging the main system or altering the database. Within such sandboxes, artificial intelligence tools are capable of performing several functions. First, they automatically assess the student's actions, analyzing not only the final result but also the process of task execution, the logic, and the efficiency of solutions. Second, embedded intelligent agents can provide real-time guidance, explaining the causes of errors or suggesting ways to correct them. Third, algorithms monitor the security of software operations, preventing the execution of potentially dangerous code. This practice is actively implemented in educational programs on cybersecurity, cloud technologies, and data analytics, for example, within courses offered by Google Cloud Skills Boost and Microsoft Learn [5].

Despite the obvious advantages, the integration of artificial intelligence (AI) into virtual learning environments is accompanied by a number of challenges. Among the most debated are ethical issues, particularly the privacy of educational data and the transparency of algorithmic decisions. Collecting large amounts of user information, even for educational purposes, requires the establishment of clear policies regarding data storage and usage, as well as compliance with existing personal data protection legislation. Another concern is the risk of algorithmic bias, where the system may make conclusions based on incorrect or incomplete data. Ukrainian researchers (Institute of Information Technologies and Learning Tools of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine [6]) emphasize the need to develop standards and ethical norms for the use of AI in education.

At the same time, the issue of teacher training remains relevant, as the effective use of advanced intelligent tools requires educators to acquire new digital competencies [7].

Thus, artificial intelligence emerges not only as a technological tool but also as a catalyst for the evolution of the educational paradigm. Its application in virtual learning environments contributes to increased flexibility, efficiency, and security of the educational process. The use of AI in sandbox components, which combine practical activities with automated analysis of user actions, appears particularly promising. However, to fully realize the potential of such systems, comprehensive solutions are required in the areas of regulatory frameworks, information security, instructional design, and teacher professional development. The Ukrainian scientific community is already actively engaged in developing methodological recommendations and research aimed at the ethical and effective implementation of artificial intelligence in the educational space.

The integration of pedagogy, computer science, and other interdisciplinary fields (such as psychology, linguistics, philosophy, etc.) lays the foundation for further research, in which artificial intelligence will be considered not merely as an auxiliary tool but as a full-fledged partner in the learning process. This underscores the need to maintain a balance between technological efficiency and the humanistic principles of education, which should become a key guideline for researchers and practitioners in the coming years.

Thus, it should be noted that artificial intelligence tools are transforming virtual learning environments by expanding their functionality toward personalization, automation, and enhanced security. Within the sandbox component of VLEs, AI plays a dual role: serving both as a learning support tool and as a security control mechanism. At the same time, the full and ethical implementation of these technologies requires systemic solutions in the areas of data protection, regulatory frameworks, and teacher training.

References

1. Гриценчук О. О. Використання штучного інтелекту в освіті: огляд проблем та практик. // *Освітні технології та інновації*. – 2024. – № 3. – С. 45–52.

2. Клименко Є.О., Глазунова О.Г. MOODLE BIG DATA ANALYTICS ЗА ДОПОМОГОЮ POWER BI // Міжнар. наук. журнал «Грааль науки». – 2024. – № 35. – С. 201-203. – DOI:10.36074/grail-of-science.19.01.2024.035.

3. Глазунова О. Г., Клименко Є. О., Волошина Т. В., Мокрієв М. В., Вороненко О. В. Освітня аналітика в університетах: інструменти для аналізу та прогнозування // *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. – 2024. – № 2 (83). – С. 49-59. – DOI:10.31673/2412-4338.2024.026171.

4. Розпорядження Кабінету міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р «Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні». – Київ, 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-p#Text>

5. Education in Ukraine: over \$51 million in grants and in-kind support announced from UNESCO, GPE, Google and Microsoft. [Електронний ресурс]. – KYIV/WASHINGTON D.C., April 27, 2023– Режим доступу: URL <https://www.globalpartnership.org/news/distance-learning-ukraine-51-million-grants-in-kind-support-gpe-google-microsoft>.

6. Можливості використання штучного інтелекту в освітньому процесі закладів середньої освіти : аналітична довідка. – Київ : ІТЗН НАПН України, 2024. – 56 с.

7. Штучний інтелект в освіті: удосконалення програм підвищення кваліфікації педагогів: монографія / за ред. В. Ю. Бикова. – Київ : ІТЗН НАПН України, 2024. – 210 с

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ФАКТОР ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ В УМОВАХ ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ

Десятнюк Лілія Борисівна, викладач кафедри медичної і біологічної
фізики та інформатики, liliia_31@nmu.ua¹

Філіпчук Анастасія Андріївна, здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти за спеціальністю І2 «Медицина»; filipsuka309@gmail.com¹

¹ Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м.Київ

Стрімкий розвиток та впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) не залишили осторонь й медицину, а навпаки, визначило одну з найперспективніших сфер, яка активно розвивається в системі охорони здоров'я. У найближчі роки його актуальність тільки зростатиме, зокрема й в Україні, де цифрова трансформація охорони здоров'я стає частиною державної політики.

Що являє собою «штучний інтелект»? Це поєднання науки та технологій. Завдяки цій взаємодії, комп'ютер здатен виконувати різні функції, які надані людині: розуміти і розрізняти мови, вміти навчатися, аналізувати, логічного мислення, приймати рішення.

У медицині технологія ШІ вперше була використана у 1976 р. в запрограмованому алгоритмі, що допомагав у діагностиці гострого болю в черевній порожнині.

З часом, сучасна медицина накопичила безліч інформації в усіх сферах надання послуг, яку потрібно було опрацювати, аналізувати та систематизувати. Постали нові вимоги до фахівців галузі охорони здоров'я. Відповідно, розвиток та впровадження штучного інтелекту змінило систему надання медичних послуг, відкрив нові можливості в зборі та опрацюванні даних, в аналізі й діагностиці, в методах лікування та ухваленні клінічних рішень, а також у створенні новітніх препаратів [1].

Аналізуючи останні публікації, можна відмітити значний розвиток системних технологій для аналізу результатів медичних обстежень (магнітно-резонансної томографії, комп'ютерної томографії, електрокардіографії, ультразвукової діагностики, рентгенографії та ін.).

Ізраїльська система Zebra Medical Vision сприяє діагностуванню в пульмонології. Як це працює? База створена на нейромережі, яка будується на значній кількості знімків хворих, які мали звернення з проблемами легень. Зокрема, ця система працює зі знімків та даних пацієнтів з остеопорозом, компресійною травмою, ожирінням печінки, коронарним звуженням, аневризмою аорти.

Штучний інтелект, сьогодні, активізувався також у сфері імплантації. За допомогою 3D-друку розроблена методика створення штучних кісток, тканин, судин та внутрішніх органів. Науковці з Мельбурнського університету у 2017 р. опублікували статтю в журналі «The Medical Journal of Australia», де описали розвиток новітніх технологій, що передбачають створення 3D-структур шляхом накладення матеріалу шар за шаром. Вчені вказують на реальні, масові інтеграції у майбутньому індивідуального протезування. Прикладом є пацієнт у Великобританії, який користується 3D-друкованою біонічною рукою. Кінцівка реагує на скорочення м'язів пацієнта за допомогою електронних сенсорів. В свою чергу, рука в поєднанні з механічними приладами, здатна перетворювати ці сигнали на рухи.

Впровадження та використання систем ШІ на основі нейронних мереж також застосовується в сучасній клініці репродуктології, а саме, в методах лікуванні безпліддя. Системи ERICA та SiD компанії IVF 2.0 аналізують та опрацьовують великий обсяг даних та отримують глибокий аналіз ембріонів з ймовірним потенціалом імплантації [2].

Наступний активний напрямок розвитку систем ШІ в медичній галузі – телемедицина. Досягнення цієї галузі дозволяють надавати медичні послуги віддалено. Новітні технології забезпечують ефективне онлайн-консультації пацієнтів. Це заощаджує час та надає екстрений доступ до лікарської допомоги. Деякі райони мають складну геолокацію, що ускладнює доступ до медичних послуг. Напрямок розвитку технологій штучного інтелекту в системі телемедицини для України, під час воєнного стану, допомагає проводити онлайн-консультації лікарів за допомогою аудіо-відео чатів. В таких випадках, щоб проаналізувати необхідні параметри людини, прибігають до застосування підручних девайсів, які працюють на основі технологій ШІ, а саме моніторингові системи в гаджетах, так, в Одесі впроваджено пілотний проєкт з телемедицини BrainScan. Ця система проводить діагностику захворювань головного мозку дистанційно за 5 хвилин, це вкрай важливо в надкритичних випадках.

Одні з найпотужніших технологій у медичній сфері, розроблені на основі навчених нейромереж – системи від IBM Watson. Наприклад Watson for Oncology, працює у сфері діагностики та лікування раку легені, а Arterys-аналізує дані, систематизує, робить висновки і створює візуалізацію серця людини. Подарунок від Google-Deeprmind Health, система допомоги в лікуванні офтальмологічних хвороб та деяких видів онкологічних патологій, ШІ надає можливість на початкових стадіях виявити захворювання раку шкіри, діабету [3].

Для систем ШІ характерне постійне поповнення бази набутих знань, що виступає провідником у діагностиці та лікуванні. Нова ера технічного прогресу ШІ в медицині, має мету боротися з тяжкими недугами та смертністю. Україна не відстає від ведучих країн в області вивчення технологій штучного інтелекту, а прогресивно генерує та впроваджує власні інноваційні рішення.

Навесні 2022 року український лікар та перший єйджменеджер країни Євген Шагов розробив інноваційний тест з використанням штучного інтелекту. Суть полягала в тому, щоб оцінити стан здоров'я людини в умовах відсутності лабораторних досліджень.

Штучний інтелект стає одним із ключових чинників розвитку сучасної медицини, забезпечуючи новий рівень ефективності у діагностиці, лікуванні, моніторингу стану пацієнтів та управлінні медичними даними. Проаналізовані приклади використання технологій ШІ у світі та в Україні свідчать, що ці системи здатні не лише підвищувати точність і швидкість клінічних рішень, але й зменшувати навантаження на медичний персонал, оптимізуючи ресурси охорони здоров'я. В умовах воєнних викликів та економічних обмежень Україна має особливу потребу у впровадженні інтелектуальних технологій для підтримання стабільності системи охорони здоров'я. Водночас це вимагає належного фінансування, підготовки кадрів та створення національної стратегії розвитку ШІ в медицині. Отже, штучний інтелект є не лише інструментом технологічного прогресу, а й важливим фактором збереження, модернізації та підвищення стійкості української системи охорони здоров'я, спрямованої на покращення якості життя населення.

Список використаних джерел

1. Штучний інтелект у медицині – як технології можуть зменшити помилки лікарів і рятувати життя – новини технологій [Електронний ресурс] // Re:News. – Режим доступу: <https://renews.com.ua/tehnologiyi/shtychnii-intelekt-y-medicini-ia-ke-tehnologiyi-mojyt-zmenshiti-pomilki-likariv-i-riatyvati-jittia-novini-tehnologij/>
2. ШІ та медицина. Як GAMA Consulting використовує штучний інтелект для діагностики клієнтів [Електронний ресурс] // Vector Media. – Режим доступу: <https://vctr.media/ua/shi-ta-medyczyna-yak-gama-consulting-vykorystovuye-shtuchnyj-intelekt-dlya-diaagnostyky-kliyentiv-212985/>
3. Розвиток штучного інтелекту в сучасній медицині [Електронний ресурс] // Український медичний журнал. – Режим доступу: <https://www.umj.com.ua/uk/publikatsia-241221-rozvitok-shtuchnogo-intelektu-v-suchasnij-meditsini>

МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВОЇ ПОВЕДІНКИ З УРАХУВАННЯМ РЕФЕРЕНС-ЗАЛЕЖНОЇ КОРИСНОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ REINFORCEMENT LEARNING

Дідківський Владислав Валентинович, аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, vladyslav.didkivskyi@gmail.com¹

Антонюк Дмитро Сергійович, канд. пед. наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, dmitry_antonyuk@yahoo.com¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

У сучасних економічних умовах ухвалення фінансових рішень на рівні домогосподарств відбувається в умовах невизначеності, обмеженості ресурсів та інформаційної асиметрії. Люди змушені одночасно приймати рішення щодо короткострокового споживання та довгострокових фінансових цілей – наприклад, накопичення на житло, формування пенсійних заощаджень або створення фінансової подушки безпеки.

Традиційні підходи, засновані на припущенні раціональності агентів та максимізації очікуваної корисності, не враховують реальних поведінкових факторів – емоцій, звичок, страху втрат, різного сприйняття ризику. Теорія перспектив показує, що люди оцінюють виграші і втрати відносно певного референсу, а не в абсолютних значеннях, і схильні до неприйняття втрат – тобто втрати болючіші за аналогічні виграші [1]. Референс визначає базовий рівень, відносно якого людина сприймає результати своїх рішень як прибуток або втрату [2]. Цей рівень може формуватися з поточного стану доходів, звичного рівня споживання або очікуваних фінансових результатів. Саме від вибору референсу залежить форма функції корисності: якщо результат перевищує очікування – він сприймається як виграш, а якщо нижчий – як втрата. Таким чином, референс виступає психологічною «точкою відліку», що визначає емоційне забарвлення фінансових рішень і суттєво впливає на поведінку агента.

У цьому контексті навчання з підкріпленням надає інструмент для формалізації цих поведінкових механізмів: воно дозволяє агенту через багаторазову взаємодію із середовищем навчитися оптимізувати свої дії, балансуючи між поточним добробутом і досягненням довгострокової мети.

Навчання з підкріпленням (Reinforcement learning) – це підхід, у якому агент отримує досвід шляхом взаємодії з середовищем, отримуючи сигнали винагороди чи покарання. Його мета – знайти оптимальну політику дій, що максимізує сумарну винагороду у часі [3]. У сфері персональних фінансів RL-агент може моделювати поведінку домогосподарства, яке щомісяця розподіляє бюджет між кількома напрямками: споживання (витрати на потреби та бажання), заощадження (нагромадження грошового резерву), інвестиції (капіталізація майбутніх доходів), довгострокова ціль.

Кожен крок моделі відповідає певному часовому інтервалу (наприклад, одному місяцю), а стан середовища визначається параметрами $s_t = D_t, S_t, P_t, H_t$ де: D_t – дохід у поточному місяці, S_t – сума заощаджень, P_t – рівень цін і базових витрат, H_t – показник суб'єктивного «щастя» чи

задоволеності. Агент отримує винагороду R_t , що залежить від поточного споживання, рівня накопичень і зміни «щастя». Поступове накопичення досвіду дозволяє йому відпрацьовувати стратегії, які забезпечують стійке зростання фінансового добробуту та підтримку задоволеності на прийнятному рівні.

Функція винагороди – центральний елемент RL-моделі, який визначає мотивацію агента. У нашому підході вона формалізується через референс-залежну корисність, де корисність визначається не абсолютними значеннями прибутку чи витрат, а відхиленням від звичного рівня споживання. Згідно з теорією перспектив, функція цінності має S-подібну форму: вона увігнута для вигравів і опукла для втрат, а втрати сприймаються сильніше, ніж еквівалентні виграти. Її загальний вигляд:

$$v(x) = \begin{cases} x^\alpha & x \geq 0 \\ -\lambda(-x)^\beta & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

де:

- $\alpha, \beta \in (0, 1)$ – параметри чутливості;
- $\lambda > 1$ – коефіцієнт несприйняття втрат.

Для персональних фінансів це означає, що зниження споживання нижче «звичного рівня» викликає сильнішу негативну реакцію, ніж еквівалентне підвищення викликає позитивну. Таким чином, агент відчуває дискомфорт від надмірної економії, навіть якщо це наближає його до довгострокової мети. Функція загальної винагороди може бути виражена як:

$$R_t = \omega_s * v(x_t - r_t) + \omega_l * f(G_t) \quad (2)$$

де:

- $v(x_t - r_t)$ – функція короткострокової корисності (1), яка описує як агент сприймає зміну споживання відносно звичного рівня споживання (референсу);
- x_t – поточний рівень споживання;
- r_t – референс точка (звичний рівень споживання);
- $f(G_t)$ – функція довгострокової корисності, яка відображає корисність агента від досягнення фінансової цілі;
- G_t – прогрес у накопиченні на ціль;
- ω_s, ω_l – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритет коротко і довгострокових цілей.

Дана функція винагороди побудована як композиція референс-залежної короткострокової корисності (за теорією перспектив) та довгострокової функції досягнення цілі. Поведінкова гнучкість моделі полягає в тому, що шляхом варіювання параметрів (α, β, λ) можна моделювати різні типи агентів: обережний інвестор – високий λ , низька α ; раціональний агент - $\alpha \approx 1, \alpha \approx \beta, \lambda \approx 1$; агресивний інвестор – низький λ , висока α [4].

Для тренування агента доцільно використати actor–critic алгоритми, зокрема Proximal Policy Optimization (PPO), що забезпечує стабільність оновлень політики та ефективне навчання у середовищах з високою стохастичністю. PPO поєднує простоту реалізації з високою ефективністю при моделюванні динамічних рішень [5, 6]. Основні компоненти архітектури агента: actor-мережа, яка формує політику, тобто ймовірність вибору дії а у стані s; critic-мережа, що оцінює функцію цінності $V(s)$ та допомагає стабілізувати навчання; буфер досвіду, у якому зберігаються епізоди для оновлення політики. Середовище моделюється на основі бібліотек OpenAI Gym і Stable-Baselines3 [7], а навчання здійснюється на часовому горизонті з фіксованою кількістю кроків (наприклад, 60 кроків = 60 місяців). На кожному кроці агент отримує сигнал винагороди, оновлює політику і поступово вдосконалює баланс між коротко та довгостроковими вигодами.

Висновки

Розробка RL-агента, що балансує короткострокове благополуччя і довгострокові цілі на основі референс-залежної корисності та теорії перспектив, є актуальним напрямом

моделювання поведінкових аспектів персональних фінансів. Такий агент поєднує аналітичну строгість машинного навчання з емпірично підтвердженими закономірностями людської поведінки. Запропонований підхід дозволяє створити інтерактивні симуляційні системи, де користувач може спостерігати наслідки власних фінансових стратегій у безпечному середовищі. Такі моделі можуть стати основою для систем персонального фінансового консультування, освітніх тренажерів для підвищення фінансової грамотності. Необхідність створення таких експериментальних систем із поведінковими параметрами підкреслюється також у сучасних оглядових дослідженнях [8]. Подальший розвиток дослідження передбачає розробку програмної системи, що реалізує описану модель, а також проведення серії експериментів для перевірки ефективності запропонованого підходу в різних сценаріях фінансової поведінки.

Список використаних джерел

1. Vladyslav Didkivskyi, Dmytro Antoniuk, Tetiana Vakaliuk, Yevhen Ohinskyi. Using the proximal policy optimization and prospect theory to train a decision-making model for managing personal finances. Radioelectronic and computer systems. Vol. 4, No 112 (2024). P. 248-258.
2. Ruggeri, K., Ali, S., Berge, M.L. et al. Replicating patterns of prospect theory for decision under risk. Nat Hum Behav 4, 622–633 (2020). DOI: 10.1038/s41562-020-0886-x
3. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). The MIT Press.
4. Дідківський, В.В. і Антонюк, Д.С. Особливості моделювання процесів прийняття рішень у галузі персональних фінансів. Технічна інженерія. 1(93) (Лип 2024), 283–288. DOI: 10.26642/ten-2024-1(93)-283-288.
5. Дідківський В. В., Антонюк Д. С., Огінський Є. В. Можливості застосування RL алгоритмів для моделювання процесів прийняття рішень в галузі персональних фінансів. Штучний інтелект у науці та освіті - 2024 / Матеріали конференції «Штучний інтелект у науці та освіті» (AISE 2024). Київ, 1-2 березня 2024 р., Видавництво УкрІНТЕІ, 2024 р. С. 453-456.
6. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A. and Klimov, O. (2017). Proximal policy optimization algorithms. DOI: 10.48550/arXiv.1707.06347.
7. Raffin, A., Hill, A., Gleave, A., Kanervisto, A., Ernestus, M. and Dormann, N. (2021). Stable-Baselines3: Reliable Reinforcement Learning Implementations. Journal of Machine Learning Research, 22(268), pp.1–8.
8. Bai, Yahui & Gao, Yuhe & Wan, Runzhe & Zhang, Sheng & Song, Rui. (2024). A Review of Reinforcement Learning in Financial Applications. Vol. 12:209-232. DOI: 10.1146/annurev-statistics-112723-034423

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА КЛАСИФІКАЦІЯ НАСТРОЇВ ІНТЕРНЕТ-СПОЖИВАЧІВ ЗА ТЕКСТОВИМИ ВІДГУКАМИ ПРО ТОВАРИ

Каштан Віта Юріївна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, kashtan.v.yu@nmu.one¹

Будаков Дмитро Ігорович, здобувач групи І26м-24-І, Budakov.D.I@nmu.one¹

Гнатушенко Максим Володимирович, здобувач групи ІТ-25-І,
Hnatushenko.M.V@nmu.one¹

¹ НТУ «Дніпровська політехніка»

У цифрову епоху обсяг користувацького контенту в Інтернеті стрімко зростає та охоплює текстові відгуки на платформах електронної комерції, мікроблоги та коментарі в соціальних мережах. Ці дані мають високу інформативну насиченість, проте водночас характеризуються значною неструктурованістю, мовною варіативністю та поширеним використанням розмовних і емоційних мовних конструкцій. Така неоднорідність ускладнює застосування традиційних методів аналізу й робить неавтоматизоване опрацювання великих даних інформації фактично неможливим.

Приватні підприємства дедалі активніше використовують цифрові канали комунікації та враховують відгуки й реакції користувачів, що надходять із різних онлайн-платформ, таких як соціальні мережі, форуми та сервіси електронної комерції [1]. У цьому контексті виникає необхідність у застосуванні автоматизованих систем аналізу настроїв, здатних точно інтерпретувати емоційні реакції користувачів. Аналіз настроїв стає ключовим інструментом для розуміння споживчих уподобань, раннього виявлення проблем із продуктами або сервісами, прогнозування попиту та формування ефективної стратегії бренду. Відгуки користувачів часто містять орфографічні помилки, скорочення, змішані мови, неформальні мовні конструкції та емоційні оцінки, що створює суттєві труднощі для традиційних інструментів текстового аналізу. Крім того, публікація даних відбувається асинхронно, а їхній зміст постійно змінюється, що підсилює потребу в масштабованих автоматизованих методах обробки. У цьому контексті особливе значення набувають нейромережеві моделі, здатні виявляти складні текстові конструкції та забезпечувати високу точність класифікації настроїв. Такі моделі базуються на глибоких архітектурах, зокрема згорткових нейронних мережах, рекурентних мереж та сучасних трансформерах [2]. Таким чином, застосування нейромережевого аналізу настроїв є актуальним так як по-перше, аналіз настроїв широко використовується у маркетингу, менеджменті продуктів, дизайні користувацького досвіду та службі підтримки клієнтів; по-друге, дозволяє компаніям виявляти потенційні проблеми на ранніх етапах, відстежуючи тенденції та поведінкові реакції користувачів на цифрових платформах; по-третє, обробка великих даних з Amazon Reviews, Yelp Reviews, Twitter та інших, надають репрезентативну інформацію про сприйняття продуктів і послуг, що формує поведінкові рішення мільйонів споживачів.

Метою даного дослідження є розробка підходу до аналізу настроїв, заснованого на комплексному використанні архітектури згорткових та рекурентних нейронних мереж (Convolutional Neural Network – Long Short-Term Memory, CNN–LSTM), що поєднує виділення локальних ознак та глибинне моделювання контексту текстових даних.

Першим етапом запропонованого підходу є завантаження текстів (відгуків про товари) із відкритих джерел: Amazon Reviews, Yelp Reviews та IMDb Reviews, кожен з яких містить по 1000 текстових коментарів [3] із бінарною оцінкою настрою (1 – позитивний, 0 – негативний). На другому етапі виконано попередню обробку даних, що включало очищення від зайвих символів, нормалізацію регістру, тощо. Для забезпечення відтворюваності експериментів застосовано класичний пропорційний поділ на навчальну та тестову вибірки у співвідношенні 80/20, що дає змогу коректно оцінити узагальнювальну здатність моделі. На третьому етапі «виділення ознак» згортковий шар CNN виконує роль автоматичного фільтра, який фіксує найбільш інформативні локальні ознаки, такі як стійкі словосполучення, n -грамні структури або характерні емоційні стани, незалежно від їхнього розташування у тексті. Це дозволяє моделі навчатися розрізняти лексичні формулювання, що визначають настрій висловлювання. Далі ознаки, виділені CNN, надходять до рекурентного шару LSTM, який відповідає за обробку послідовностей слів із урахуванням контексту всього речення. Завдяки здатності зберігати інформацію на довгих інтервалах, LSTM правильно ідентифікує випадки емоційного змісту, наприклад: «бавав купити..., але товар не прийшов». Використання двонаправленого механізму LSTM дозволяє чітко проаналізувати текст як зліва направо, так і справа наліво. Завдяки цьому враховуються залежності як від попередніх, так і від наступних слів, що підвищує точність класифікації настроїв у текстах зі складною синтаксичною структурою. На останньому етапі архітектура CNN–LSTM генерує класифікаційне рішення щодо віднесення кожного текстового відгуку до позитивної або негативної категорії настрою. Це створює можливість подальшого використання результатів у процесах автоматизованого моніторингу та аналітики.

Для оцінки ефективності запропонованого підходу на основі CNN–LSTM з нейромережевими архітектурами: базовим лінійним класифікатором SVM та багатоядерною архітектурою Multi-Kernel CNN.

Результати табл.1 показали, що базовий класифікатор SVM досяг точності близько 77,0 %, багатоядерна CNN – 82,18 %, а запропонований підхід на основі CNN–LSTM забезпечила найвищу точність – 85,50 %, що перевищує Multi-Kernel CNN на 3,32 %. Це свідчить про ефективність комплексного використання згорткових та рекурентних шарів для моделювання локальних ознак та глобальних контекстних залежностей у текстових даних.

Таблиця 1 – Порівняння ефективностей архітектур

Архітектура	Точність на тестовому наборі даних
Базовий класифікатор (SVM)	77.00%
Multi-Kernel CNN	82.18%
CNN-LSTM	85.50%

Висновки. Розроблено підхід до аналізу настроїв користувачів у текстових відгуках на основі архітектури CNN–LSTM, що поєднує автоматичне виділення локальних ознак та обробку послідовностей слів із урахуванням контексту всього речення. Для тренування та тестування використовувалися набори відгуків із платформ Amazon, Yelp та IMDb, які були очищені, токенозовані та поділені на навчальну та тестову вибірки у пропорції 80/20. Згортковий шар CNN забезпечував виділення інформативних локальних патернів, таких як n-грамні структури та емоційні маркери, а двонаправлений LSTM оброблює слова у тексті, що дозволяє коректно інтерпретувати емоційний зміст навіть у складних конструкціях речень. Експериментальні результати показали, що запропонована CNN–LSTM архітектура досягла точності 85,50 %, перевищуючи багатоядерну CNN на 3,32 % і базовий SVM на 8,50 %. Запропонований в роботі підхід може бути використаний для автоматизованого оцінювання настроїв споживачів у відгуках про товари та послуги, що дозволяє своєчасно виявляти проблеми, оцінювати реакції користувачів та приймати обґрунтовані управлінські рішення, а також має потенціал для подальшого розширення на багатомовні набори даних та аналіз текстів із соціальних мереж і новинних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Chaturvedi S., Mishra V., Mishra N. Sentiment analysis using machine learning for business intelligence / S. Chaturvedi, V. Mishra, N. Mishra // Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI). – 2017. – P. 2162–2166.
2. Bonifazi G., Cauteruccio F., Corradini E., Marchetti M., Terracina G., Ursino D., Virgili L. A framework for investigating the dynamics of user and community sentiments in a social platform / G. Bonifazi, F. Cauteruccio, E. Corradini, M. Marchetti, G. Terracina, D. Ursino, L. Virgili // Data & Knowledge Engineering. – 2023. – Vol. 146. – Article 102183.
3. Kaggle [Електронний ресурс] // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/>. (дата звернення: 16.11.2025).

РОЗВИТОК ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ В СВІТІ

Кейда Світлана Іванівна, викладачка інформатики, учителька вищої кваліфікаційної категорії, учитель-методист, keydasvetlana72@gmail.com¹

Травкін Владислав Олександрович, спеціаліст інформаційно-телекомунікаційних мереж, 9lvlatra@gmail.com²

¹ ВСП «Маріупольський політехнічний фаховий коледж ДВНЗ «ПДТУ»

² ТОВ «Основа-тв»

Сучасна медицина неможлива без штучного інтелекту, який став ключовим інструментом діагностики та лікування. Алгоритми ШІ аналізують медичні зображення з неймовірною точністю, виявляючи патології на ранніх стадіях. Вони допомагають лікарям приймати обґрунтовані рішення, зменшуючи ймовірність людської помилки. Персоналізована медицина – це майбутнє, яке вже настало. ШІ аналізує генетичні дані, історію хвороби та lifestyle пацієнта, підбираючи індивідуальні схеми лікування. Також технології допомагають у розробці нових ліків, скорочуючи час досліджень з років до місяців. Віртуальні медичні асистенти вже сьогодні надають первинні консультації, моніторять стан хронічних хворих та нагадують про прийом препаратів. Це особливо важливо для пацієнтів у віддалених районах, які мають обмежений доступ до якісної медичної допомоги. Етичні аспекти використання ШІ в медицині потребують уваги. Питання конфіденційності даних, відповідальності за помилкові діагнози та прозорості алгоритмів залишаються критично важливими для подальшого впровадження технологій.

Сучасні системи відеоспостереження перетворилися з пасивних записувачів на активні аналітичні інструменти. Завдяки технологіям комп'ютерного зору, вони можуть розпізнавати обличчя, жести, позу та траєкторію руху людей у реальному часі. Це відкриває нові можливості для забезпечення безпеки в громадських місцях. У розумних містах інтелектуальні системи спостереження допомагають оптимізувати дорожній рух, виявляти порушення ПДР та аналізувати пасажиропотоки. У торгових центрах вони вивчають поведінку покупців, допомагаючи оптимізувати викладку товарів та покращити сервіс. Системи можуть автоматично виявляти нестандартні ситуації: бійки, падіння людей, залишені без нагляду предмети. Це дозволяє операторам швидше реагувати на потенційні загрози та запобігати небезпечним подіям. Важливим аспектом є баланс між безпекою та приватним життям. Необхідно розвивати ці технології в рамках чіткого правового поля, що захищає права громадян на конфіденційність.

Штучний інтелект революціонує освіту, роблячи навчання персоналізованим та доступним. Сучасні платформи e-Learning з інтегрованим ШІ аналізують успішність кожного студента та адаптують навчальний контент під його індивідуальні потреби. Персоналізовані навчальні траєкторії – це ключова перевага ШІ в освіті. Алгоритми визначають сильні та слабкі сторони студента, пропонуючи додаткові матеріали для вивчення складних тем або прискорюючи проходження вже засвоєного матеріалу. ШІ також допомагає викладачам, автоматизуючи перевірку тестів та стандартизованих завдань. Це звільняє час для творчої роботи та особистої взаємодії зі студентами. Віртуальні помічники можуть відповідати на типові запитання студентів 24/7. Важливо враховувати, що технологія не замінює викладача, а лише доповнює його роботу. Крім того, необхідно забезпечити рівний доступ до освітніх технологій для всіх учнів.

Етичні аспекти розвитку штучного інтелекту стають все більш актуальними з ростом його впровадження. Однією з ключових проблем є упередженість алгоритмів, яка може посилювати соціальні нерівності при прийнятті рішень у сфері кредитування, найму чи правосуддя. Безпека даних – ще один критичний виклик. ШІ-системи обробляють величезні обсяги персональної інформації, що робить їх привабливою мішенню для кібератак. Необхідно розробляти надійні системи захисту та чіткі протоколи обробки даних. Прозорість роботи алгоритмів ("чорна

скринька") – серйозна перешкода для довіри до ШІ. Користувачі та регулятори мають розуміти, як система приймає рішення, особливо коли йдеться про здоров'я, безпеку чи фінанси. Міжнародне співробітництво у створенні етичних норм і стандартів для ШІ є необхідним для безпечного розвитку технології. Важливо забезпечити, щоб ШІ служив на благо всього людства, а не обмежених груп.

Список використаних джерел

1. Коваленко В. Л. Штучний інтелект в діагностиці захворювань // Сучасна медицина. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 45–56.
2. Цифрова трансформація охорони здоров'я [Електронний ресурс]. Міністерство охорони здоров'я України. <https://www.moz.gov.ua>
3. Петренко С. І. Комп'ютерний зір у системах безпеки.-Київ: Технології, 2022. – 167 с.
4. Розумне відеоспостереження: можливості та перспективи. /Інститут штучного інтелекту. <https://www.ai-institute.org>
5. Іваненко М. П. Цифровізація освіти: виклики та можливості. // Педагогічні інновації. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 23–34.
6. Персоналізоване навчання з використанням ШІ [Електронний ресурс] // Освітні технології. <https://www.edtech-ua.org>
7. Білоус А. В. Етика штучного інтелекту: глобальні виклики. -Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. – 245 с.
8. Принципи відповідального ШІ // Європейська комісія. -Режим доступу <https://digital-strategy.ec.europa.eu>

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ LLM ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ПРОЄКТІВ НА FPGA

Котелевський Данило Сергійович, магістр кафедри комп'ютерних систем і мереж, kotelevskijdanilo@gmail.com¹

Зеленьова Ірина Яківна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, irina.zeleneva@gmail.com¹

Голуб Тетяна Василівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, golubtv6@gmail.com¹

¹ ДВНЗ Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Стрімкий розвиток цифрової електроніки висуває високі вимоги до швидкості та якості проєктування апаратних систем. Мова VHDL є галузевим стандартом, однак процес верифікації проєктів залишається надзвичайно складним. Ручне виявлення синтаксичних, логічних помилок та проблем ефективності є трудомістким процесом, що потребує високої кваліфікації. У зв'язку з цим, розробка автоматизованих інструментів для аналізу VHDL-коду є актуальною задачею.

Перспективним напрямом є застосування засобів AI, зокрема великих мовних моделей (LLM), які продемонстрували високу ефективність в аналізі програмного коду [1]. Інтеграція таких моделей може прискорити верифікацію та підвищити надійність пристроїв. Існуючі професійні інструменти (симулятори, лінери) часто є складними у використанні, дорогавартісними та не орієнтованими на навчання, надаючи мінімальний зворотний зв'язок.

Однак, для ефективної інтеграції необхідно спочатку провести об'єктивне дослідження: які саме LLM є найбільш ефективними для специфічної задачі аналізу VHDL-коду.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування комплексної методики для проведення порівняльного аналізу ефективності сучасних засобів LLM для верифікації VHDL-коду в процесі розробки проєктів цифрових систем в базисі FPGA.

Наукова новизна роботи полягає в інноваційному дворівневому підході до автоматизації аналізу. Практична цінність результатів роботи полягає у науково обґрунтованих рекомендаціях для проєктувальників на FPGA. Дослідження надає об'єктивну основу для вибору оптимальної

LLM, враховуючи співвідношення точності, швидкості та вартості, для її практичної інтеграції в системи автоматизованої верифікації VHDL-коду.

Для об'єктивної оцінки точності, швидкості, вартості та надійності LLM в даній роботі пропонується методика, яка складається з наступних етапів: підготовка тестового набору, розробка уніфікованого промπτу, проведення експерименту, нормалізація даних та аналіз результатів (рис.1).

Для тестування в даних дослідженнях було обрано 9 ключових моделей від трьох провідних розробників (OpenAI [1], Anthropic [2, 3], Google [4, 5]), що охоплюють різні категорії: флагманські (GPT-5, Claude Opus 4.1, Gemini 2.5 Pro), збалансовані (GPT-5 mini, Claude Sonnet 4, Gemini 2.5 Flash) та швидкі (GPT-5 nano, Claude Haiku 4.5, Gemini 2.5 Flash Lite).

Для експериментальних досліджень було сформовано спеціалізований датасет з 25 тестових випадків. Кожен випадок містить VHDL-файл з помилкою (або без неї) та «ground truth» JSON-файл з еталонним описом проблеми. Тестовий набір охоплює 5 основних категорій помилок, детальний опис та приклади яких наведено в таблиці 1.



Рисунок 1 – Блок-схема методики порівняльного аналізу

Таблиця 1 – Категорії помилок VHDL-коду

Категорія помилки	Опис	Приклад
Синтаксичні	Порушення граматичних правил мови VHDL	Пропущена крапка з комою, помилка в ключовому слові
Стилістичні	Порушення стандартів кодування, що ускладнюють читабельність та підтримку	Непослідовне іменування сигналів, відсутність коментарів
Логічні	Код синтаксично правильний, але його поведінка не відповідає очікуваній	Неповний список чутливості (sensitivity list), умови гонок (race conditions)
Проблеми синтезу	Конструкції, що призводять до неоптимальної реалізації або не можуть бути синтезовані	Створення небажаних засувов (latches), використання wait for.
Змішані	Комбінація з 2-3 помилок різних типів в одному файлі	Логічна помилка та стилістичні проблеми.

Також включено 5 повністю коректних файлів для перевірки моделей на хибні спрацювання (false positives).

Пряме порівняння текстових відповідей від різних моделей є неможливим через різницю у формулюваннях. Для вирішення цієї проблеми вводиться етап нормалізації: використовуємо потужну «модель-арбітра» (Claude Sonnet 4.5) для семантичного зіставлення. «Модель-арбітр» порівнює відповідь моделі, що тестується, з еталонним «ground truth» файлом і класифікує результати (True Positives, False Positives, False Negatives). Цей підхід, що базується на ідеї семантичної стандартизації даних за допомогою LLM, дозволяє перетворити суб'єктивний аналіз тексту на об'єктивний та науково обґрунтований процес [6].

Експеримент виявив суттєві відмінності в ефективності, надійності та продуктивності LLM, що узгоджується із загальними тенденціями досліджень LLM для мов опису апаратури [7]. Ключовим інтегральним показником, що використовується для оцінки загальної якості, є F1-Score. Порівняння моделей за цим показником представлено на рисунку 2.

Як демонструє діаграма, лідером за загальною збалансованою якістю стала модель Claude Sonnet 4.5.

Загальний аналіз результатів дозволив зробити наступні висновки:

- виявлено фундаментальне покращення в аналізі проблем апаратного синтезу, де моделі сімейства Claude показали найкращі результати;
- легкі моделі здатні перевершувати флагманів у специфічних задачах, зокрема у пошуку логічних та стилістичних помилок;
- флагманські моделі залишаються найнадійнішими у виявленні простих синтаксичних помилок;
- аналіз надійності на повністю коректних файлах виявив непридатність деяких «легких» моделей через катастрофічний рівень хибних спрацювань;
- аналіз продуктивності та вартості показав компроміс між швидкістю, ціною та якістю аналізу.

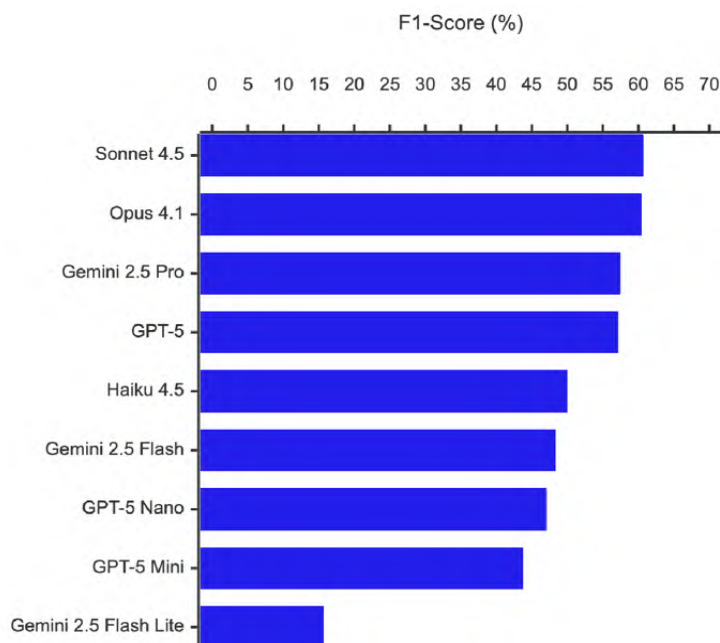


Рисунок 2 – Порівняння моделей за F1-Score

Розроблена методика довела свою ефективність, дозволивши провести об'єктивне порівняння LLM. Практична цінність роботи полягає у наданні науково обґрунтованих рекомендацій для розробників:

- для швидких, дешевих та збалансованих перевірок (оптимальний баланс «ціна-якість-швидкість») рекомендується Claude Haiku 4.5 (F1 64.2%, 6.7с);

- для глибокого аналізу, де пріоритетом є максимальна якість (особливо у пошуку проблем синтезу), рекомендується Claude Sonnet 4.5 (F1 67.2%);
- модель Gemini 2.5 Flash Lite ідентифікована як непридатна для використання через катастрофічний рівень хибних спрацювань.

Отримані результати надають обґрунтовані рекомендації для подальшої практичної реалізації системи «AI-асистент проєктувальника FPGA».

Подальші дослідження будуть зосереджені на практичній реалізації цієї системи. Концепція асистента передбачає інтеграцію обраних LLM для надання деталізованого зворотного зв'язку, включаючи не лише виявлення помилок, але й пояснення їх суті та пропозиції шляхів виправлення. Планується реалізація функціоналу для аналізу та оптимізації коду, а також автоматичної генерації тестового оточення (тестбенчів), що перетворить інструмент на комплексне навчально-орієнтоване рішення.

Окрім безпосередньої реалізації асистента, перспективним напрямом є подальше покращення точності LLM. Це включає як ітеративне вдосконалення інженерії промптів (prompt engineering) для оптимізації поведінки існуючих моделей, так і наступний, більш глибокий етап – спеціалізоване донавчання (fine-tuning). Доновчання провідних LLM (таких як Claude Sonnet 4.5) на значно розширеному та верифікованому наборі даних VHDL-коду дозволить охопити ще більший спектр апаратних конструкцій та специфічних помилок, що не були представлені у поточному тестовому наборі.

Іншим важливим вектором розвитку є дослідження інтеграції розробленого асистента у вигляді плагіна до існуючих професійних середовищ розробки (EDA-інструментів) та популярних редакторів коду. Це дозволить наблизити інструмент безпосередньо до робочого процесу інженера-проєктувальника та оцінити його ефективність у реальних умовах. У майбутньому розроблену методику також можна адаптувати для аналізу інших мов опису апаратури, зокрема Verilog та SystemVerilog, що відкриває шлях до створення універсального верифікаційного помічника.

Список використаних джерел

1. OpenAI's Next Generation: GPT-5 Architecture and Capabilities [Електронний ресурс] // OpenAI. – Режим доступу: <https://openai.com/index/introducing-gpt-5> (дата звернення: 28.10.2025);
2. Introducing the Claude 4.1 Family: Opus and Sonnet [Електронний ресурс] // Anthropic. – Режим доступу: <https://www.anthropic.com/news/claude-opus-4-1> (дата звернення: 28.10.2025);
3. Claude 4.5 Haiku: The Fastest Model in its Class [Електронний ресурс] // Anthropic. – Режим доступу: <https://www.anthropic.com/news/claude-haiku-4-5> (дата звернення: 28.10.2025);
4. Google AI Unveils Gemini 2.5: Pro and Flash [Електронний ресурс] // Google Cloud Blog. – Режим доступу: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/gemini-2.5-flash-lite-flash-pro-ga-vertex-ai> (дата звернення: 28.10.2025);
5. Gemini 2.5 Flash Lite: High-Efficiency AI for Mobile [Електронний ресурс] // Google AI for Developers. – Режим доступу: <https://ai.google.dev/gemini-api/docs/models#gemini-2.5-flash-lite> (дата звернення: 28.10.2025);
6. Toward Total Recall: Enhancing FAIRness through AI-Driven Metadata Standardization [Електронний ресурс] // arXiv.org. – Режим доступу: <https://arxiv.org/html/2504.05307v1> (дата звернення: 14.10.2025);
7. Korvala, A. (2023). Analysis of LLM-models in optimizing and designing VHDL code. Theseus. – Режим доступу: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/810386/Korvala_Aki.pdf (дата звернення: 29.10.2025);

ОПТИМІЗАЦІЯ СЛОВНИКА ОЗНАК ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЯКОСТІ КОДОВИХ БАЗ

Паращенко Владислав Анатолійович, аспірант кафедри комп'ютерних наук,
vladyslav.parashchenko@student.sumdu.edu.ua¹

Берест Олег Борисович кандидат технічних наук, старший викладач кафедри
комп'ютерних наук¹

¹Сумський державний університет, м. Суми

Сучасний вектор розробки програмного забезпечення (ПЗ) зміщується від переважно ручного написання коду до широкого застосування генеративних інструментів на основі технології великих мовних моделей (LLM) [1]. Впровадження таких популярних програмних засобів, як GitHub Copilot [2] та Cursor IDE [3], забезпечило значне прискорення циклу розробки. Однак, ця технологічна трансформація породжує нові, критичні виклики стосовно контролю якості та підтримуваності згенерованого коду. Зокрема, збільшення обсягу кодової бази, що потребує ретельного рецензування (code review), істотно підвищує когнітивне та часове навантаження на висококваліфікованих інженерів-програмістів, що може спричинити блокування або істотне уповільнення загального процесу розробки ПЗ. Для мінімізації цього критичного навантаження та забезпечення сталої якості програмних продуктів виникає нагальна потреба у розробці та впровадженні автоматизованих систем верифікації якості програмного коду.

Для ефективного функціонування такої системи підтримки прийняття рішень (СППР) необхідно представити процес розробки та аналізу коду у вигляді дискретно вимірюваних значень з чітко визначеною частотою вибірки. Одним із перших етапів реалізації СППР є побудова структурованого словника ознак, від якого в значній мірі буде залежати складність розроблення та ефективність функціонування системи вцілому. Цей словник має вичерпно та кількісно характеризувати кожен дискретну одиницю програмного коду (наприклад, функцію, клас, модуль) за сукупністю релевантних метрик якості коду. Така формалізована репрезентація дозволить СППР приймати обґрунтовані рішення щодо контролю якості.

Метою даного дослідження є оптимізація структури словника ознак. Ця оптимізація спрямована на зменшення розмірності ознакового простору та виявлення найбільш інформаційно важливих ознак, які мають найбільший вплив на показники якості та підтримуваності програмного коду.

В якості дискретної одиниці аналізу програмного коду в даному дослідженні було обрано клас, що узгоджується з базовими принципами об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) [4]. Згідно з парадигмою ООП, клас інкапсулює певну логічно завершену поведінку та набір даних, що робить його зручною та вимірюваною сутністю. Для багатоаспектної характеристики кожного класу було сформовано початковий словник ознак, що включає як прості параметри (кількість методів, кількість властивостей/атрибутів, середня довжина тіла методу, середня кількість формальних параметрів методу), так і складніші метрики якості коду. До останніх було включено метрики складності, такі як цикломатична складність та Npath [5], а також комплекс метрик згуртованості, зокрема LCOM1, LCOM2, LCOM3, LCOM4 та LCOM5[6]. Таким чином, було сформовано 36 ознак для кожного досліджуваного класу.

Для розпізнавання якості коду застосовується інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія (ІЕІТ) [7]. Дана технологія належить до класу методів інформаційного екстремального навчання та фундаментально відрізняється від традиційних підходів тим, що процес прийняття рішень базується на перевірці статистичних гіпотез, яка здійснюється у просторі з мінімально можливою апіорною інформацією про досліджувані об'єкти. Для кількісної оцінки якості розпізнавання, яку забезпечує модель ІЕІТ, застосовується усереднений критерій функціональної ефективності (КФЕ):

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m^* \quad (1)$$

де E_m^* – максимальне значення КФЕ навчання системи підтримки рішень розпізнавати реалізації класу X_m^0 , m – клас розпізнавання.

Для інформаційного КФЕ за Кульбаком[8] для двоальтернативного рішення при рівномірних гіпотезах формула знаходження КФЕ набуває наступного вигляду:

$$E = \frac{1}{n} \log_2 \left(\frac{2n - K_2 - K_3 + 10^{-r}}{K_2 + K_3 + 10^{-r}} \right) [n - (K_2 + K_3)] \quad (2)$$

де K_2 – кількість подій, які означають відповідно належність та неналежність реалізацій образу контейнеру K_k^0 , якщо дійсно $\{x_k^{(j)}\} \in X_k^0$; K_3 – кількість подій, які означають відповідно належність і неналежність реалізацій контейнеру K_k^0 , якщо вони насправді належать класу X_l^0 ; n_{min} – мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки.

Оскільки початковий словник з 36 ознак може містити надлишкову або некорисну інформацію, що негативно впливає як на точність (КФЕ), так і на обчислювальну складність моделі, ключовою задачею є його оптимізація. Для цього використовується розроблений ітеративний алгоритм редукції ознак:

1) на початковому етапі з аналізу відкидаються усі ознаки з нульовою інформаційною мірою, тобто ті, що приймають однакові значення для всіх розглянутих класів у вибірці, оскільки вони не мають жодної дискримінативної здатності.

2) Після цього запускається основний ітеративний цикл: на кожному кроці для поточного набору ознак розраховується КФЕ шляхом ітеративного тимчасового виключення по одній ознаці та оцінки результату.

3) Далі, масив отриманих значень КФЕ сортується, і з набору перманентно вилучається N ознак, тимчасове виключення яких призвело до найбільшого показника КФЕ (що свідчить про їх найменшу інформаційну цінність або негативний вплив).

4) Перед початком наступної ітерації перевіряється комбінована умова зупинки: 1) усереднений КФЕ поточної ітерації перевищує усереднений КФЕ попередньої ітерації на порогову величину 0.001 (що свідчить про досягнення статистично значущого покращення); 2) кількість ознак, що залишилися в словнику, строго більша за N (кількість ознак, що відкидається на кожному кроці). Якщо умова зупинки не виконана, алгоритм повертається до етапу 2.

Опис наявного словника ознак подано в таблиці 1, до початку експерименту відібрано 36 ознак, які характеризують

Таблиця 1 – Початковий словник ознак

Назва	Опис
Boolean Expression Complexity	Метрика складності булевих виразів, які використовуються
N-Path Complexity	Підраховує кількість унікальних шляхів виконання через метод.
Cyclomatic Complexity	Метрика Маккейба для оцінки кількості незалежних шляхів через код.
Simplifiable Boolean Expression	Вказує, чи можна спростити логічні вирази без зміни логіки.
Unused Local Variables	Кількість локальних змінних, що не використовуються.
Parameter Count	Кількість параметрів у методі.

Продовження таблиці 2

Назва	Опис
Method Length	Кількість рядків коду в методі.
Method Count	Загальна кількість методів у класі або файлі.
ClassFan-Out Complexity	Кількість зовнішніх класів, від яких залежить цей клас.
Line Length	Середня або максимальна довжина рядка коду.
Nested If Depth	Максимальна глибина вкладеності конструкцій if.
Nested For Depth	Максимальна глибина вкладеності циклів for.
Nested Try Depth	Максимальна глибина вкладеності try/catch/finally блоків.
File Length	Кількість рядків у файлі.
Law of Demeter Violations	Порушення “Закону Деметри” (надмірна зв’язаність об’єктів).
Constructor Count	Кількість конструкторів у класі.
Method Count	Кількість методів
Public Method Count	Кількість публічних методів.
Private Method Count	Кількість приватних методів.
Protected Method Count	Кількість protected-методів.
Final Method Count	Кількість методів із модифікатором final .
Static Method Count	Кількість статичних методів.
Average Parameter Count	Середня кількість параметрів на метод.
Field Count	Кількість полів у класі.
Public Field Count	Кількість публічних полів.
Private Field Count	Кількість приватних полів.
Protected Field Count	Кількість protected-полів.
Final Field Count	Кількість фінальних полів.
Static Field Count	Кількість статичних полів.
Average Method Length	Середня довжина методів у рядках.
Average Annotations per Method	Середня кількість анотацій на метод.
Average Annotations per Field	Середня кількість анотацій на поле.
(LCOM1)	Перша версія метрики згуртованості методів.
LCOM2	Поліпшена версія, що враховує спільні поля між методами.
LCOM3	Нормалізована версія LCOM.

Продовження таблиці 3

Назва	Опис
LCOM4	Підраховує незалежні підграфи методів за спільними полями.
LCOM5	Узагальнена метрика згуртованості, що враховує всі зв'язки.
Yet Another LCOM	Експериментальна версія метрики згуртованості.

Оптимізація словника ознак здійснювалася протягом 14 епох із застосуванням поетапного відбору ознак на основі показників їхнього внеску в загальну ефективність моделі. У процесі оптимізації спостерігалось поступове зростання коефіцієнта функціональної ефективності з початкового значення 0.58 до кінцевого 0.65, що свідчить про покращення узгодженості словника з критеріями якості класифікації. Паралельно з цим було досягнуто суттєвого скорочення розміру словника, з початкового набору в 36 ознак до 21 ознаки, що відповідає 42% зменшенню від початкового обсягу ознак.

Підвищення КФЕ на 7% супроводжувалося відбором лише найбільш інформативних ознак, що дозволило зменшити надмірність даних і підвищити загальну швидкість системи. Графічне відображення зміни КФЕ впродовж кожної епохи оптимізації представлено на рисунку 1, де простежується тенденція стабільного зростання показника до досягнення оптимального значення. Детальний опис динаміки зміни КФЕ, а також переліку ознак, що були виключені на кожному етапі оптимізації, наведено в таблиці 2.

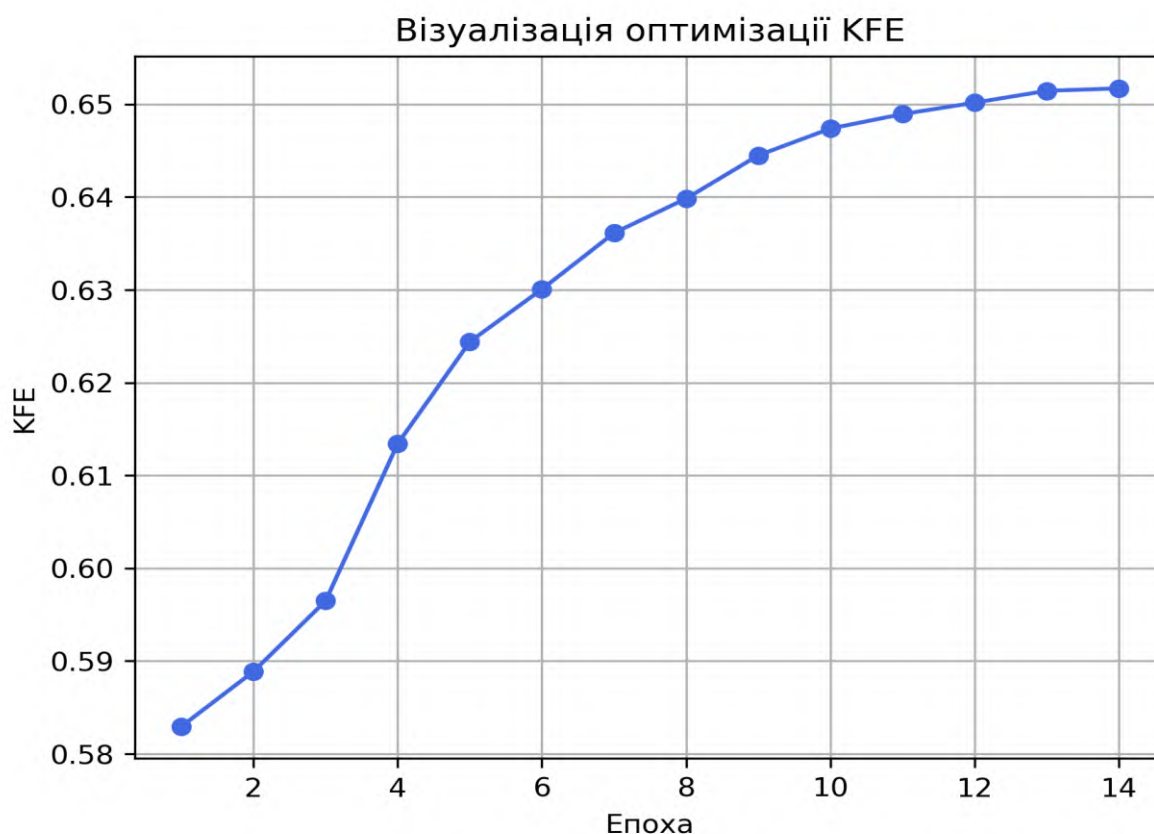


Рисунок 1 – Візуалізація зміни КФЕ для кожної епохи оптимізації

Результати експериментів також засвідчили покращення часових характеристик навчання: середній час одного циклу навчання скоротився з 610 до 540 мілісекунд. Це свідчить про підвищення обчислювальної ефективності системи за рахунок зменшення кількості ознак та оптимізації їхнього впливу на модель.

Таблиця 4 – Результати оптимізації

Епоха	KFE	Виключені ознаки
1	0.5829558990351771	Simplifiable Boolean Expression, Final Method Count
2	0.5888774175050611	LCOM5
3	0.5964796407736401	File Length
4	0.6134197154571621	Method Count
5	0.6243996617477274	Nested If Depth
6	0.6300628090672296	Yet Another LCOM
7	0.6361192161612677	Average Method Length
8	0.639823558975456	Public Method Count
9	0.6444751579777281	Method Count
10	0.6473669116868082	Boolean Expression Complexity
11	0.6489245609392214	LCOM3
12	0.6501535390187563	LCOM4
13	0.65143331669821	Static Method Count
14	0.6516958004868183	Private Method Count

Результати проведеного дослідження свідчать про ефективність застосування методики оптимізації словника ознак для підвищення коефіцієнта функціональної ефективності. Розглянута методика дозволила зменшити надмірність ознакового простору, підвищити точність класифікації та скоротити час навчання моделі. Отримані результати підтверджують можливість формування компактного, стабільного та високопродуктивного словника ознак, який забезпечує оптимальний баланс між точністю класифікації, швидкістю та інтерпретованістю моделі. Запропонована методика може бути використана як універсальний інструмент у задачах оцінювання якості програмного забезпечення, а також як основа для подальших досліджень у напрямі автоматизованої верифікації коду, оптимізації моделей машинного навчання та підвищення ефективності аналітичних систем у галузі програмної інженерії.

Список використаних джерел

1. Chang Y., et al. A survey on evaluation of large language models // ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology. – New York : ACM, 2024. – Vol. 15, № 3. – P. 1–45.
2. Wermelinger M. Using GitHub Copilot to solve simple programming problems // Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – Vol. 1. – 2023. – P. 172–178.
3. Kumar Y., Akinwunmi I., Kruger D. Evaluating the advantage of an AI-native IDE Cursor on programmer performance // 2025 IEEE Integrated STEM Education Conference. – IEEE, 2025. – P. 1–8.
4. Nwokoro I., et al. Object-oriented programming and software development paradigm // Academic Letters. – 2021.
5. Nejme B.A. NPATH: A measure of execution path complexity and its applications // Communications of the ACM. – New York : ACM, 1988. – Vol. 31, № 2. – P. 188–200.
6. Kirğil E.N.H., Ayyildiz T.E. Analysis of Lack of Cohesion in Methods (LCOM): A case study // 2021 2nd International Informatics and Software Engineering Conference. – IEEE, 2021. – P. 1–4.

7. Довбиш А.С., Ободяк В.К., Шелехов І.В. Сучасні інформаційні технології в кібербезпеці. – Суми : Сумський державний університет, 2021.
8. Довбиш А.С., Шелехов І.В. Основи теорії розпізнавання образів. – Суми : Вид-во СумДУ, 2015.

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

Піперіді Микита Віталійович, студент групи МА-24-М,
piperidi_m_v@students.pstu.edu¹

Черевко Олена Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій, cherevkoea89@gmail.com¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Впровадження нейромережевих технологій в автоматизовані системи управління тепличним господарством здатне істотно підвищити продуктивність і точність моніторингу мікрокліматичних умов та активізації росту рослин. Нейромережі є дієвими інструментами машинного навчання, що здатні аналізувати комплексні залежності між факторами навколишнього середовища (наприклад, рівень тепла, вологості, світла) та відповідними керуючими впливами (зокрема, управління системами обігріву, зрошення, освітлення).

Одним з ключових напрямків застосування нейромереж в «розумних» теплицях є передбачення оптимальних значень параметрів управління на базі попередніх даних та показників навколишнього середовища. Наприклад, нейронна мережа може бути навчена прогнозувати ідеальний графік поливу, регулювання освітлення або контроль температури для забезпечення оптимальних умов розвитку рослин та збільшення їх урожайності.

Окрім цього, нейромережі можуть бути використані для створення систем автоматичного управління, здатних пристосовуватися до змінних умов середовища. Зокрема, система управління може використовувати нейронну мережу для аналізу даних про реакцію рослин на зміни умов, а потім самостійно приймати рішення щодо необхідних регуляторних заходів для підтримки оптимального росту.

Переваги використання нейромереж в автоматизації управління «розумною» теплицею включають автоматичну адаптацію до змін кліматичних умов; високу точність у прогнозуванні та управлінні; економію та раціональне використання ресурсів. Все це впливає на енергоефективність, регулюючи всі сигнали керування відповідно до потреб рослин.

Проте слід визнати, що розробка та навчання нейромереж вимагає значних обсягів даних та експертних знань. Налаштування та оптимізація нейромереж може бути доволі складною задачею. Тому перед впровадженням нейромереж в систему автоматизації теплиці бажано провести відповідне дослідження та проконсультуватися з експертами у сфері машинного навчання та сільського господарства.

Використання штучних нейронних мереж дає можливість розв'язувати важкі завдання, для яких не завжди можливо застосувати традиційні аналітичні підходи. Нейромережі здатні розпізнавати комплексні співвідношення та нелінійні зв'язки між вхідними даними та вихідними керуючими впливами. Вони адаптуються до мінливих зовнішніх обставин, враховуючи динаміку функціонування, що забезпечує більш точне та гнучке регулювання.

Впровадження нейромереж також сприяє підвищенню енергоефективності системи управління. Їх можливо використовувати для оптимізації роботи виконавчих механізмів, досягаючи раціонального використання енергетичних ресурсів та скорочення витрат. Таким чином, системи керування стають більш екологічними та продуктивними.

Використання нейронних мереж в системах управління мікрокліматом теплиць є багатообіцяючим напрямком досліджень. Воно відкриває широкі перспективи для автоматизації процесів, збільшення врожайності та оптимізації використання ресурсів. Важливо проводити дослідження та створювати дієві нейронні мережі, що враховують специфіку

управління мікрокліматом теплиць та завдання, які необхідно вирішувати.

Застосування нейромереж дозволяє виконувати прогнозування та адаптацію системи керування на основі отриманих даних. Нейромережі аналізують залежності між вхідними параметрами (наприклад, температура, вологість, освітлення) та вихідними результатами (наприклад, обсяг поливу, режим освітлення). Вони здатні самостійно знаходити складні закономірності та робити прогнози на основі цих залежностей.

Нейронні мережі можна застосовувати для оптимізації режимів роботи системи керування, враховуючи обмеження та цілі. Наприклад, нейромережа може знаходити оптимальні налаштування для системи поливу, забезпечуючи необхідний рівень вологості з урахуванням енергоефективності та економії води.

Іншим застосуванням є адаптивне керування. Нейромережі можуть навчатися на основі змінних умов навколишнього середовища та змінювати параметри керування для підтримки оптимальних умов у теплиці. Наприклад, при зміні зовнішньої температури, нейромережа автоматично адаптує режими вентиляції та опалення для забезпечення стабільних умов всередині теплиці.

Автоматизація управління розумною теплицею за допомогою нейронних мереж забезпечує більш точне, ефективне та гнучке регулювання мікроклімату. Вони допомагають враховувати складні залежності та нелінійні взаємозв'язки та адаптуватися до змінних умов. Це призводить до підвищення продуктивності, енергоефективності та якості вирощуваних рослин в «розумній» теплиці.

Список використаних джерел

1. Гайдукевич С. В., Семенова Н. П., Леськів Я. А. (2020). Підвищення ефективності в системах керування мікрокліматичними параметрами приміщень закритого ґрунту. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : технічні науки. № 6. С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/10>
2. Лактіонов І. С., Вовна О. В., Бережний М. О., Лебедев В. А. (2019). Комп'ютеризована система комплексного моніторингу й керування мікрокліматом промислових теплиць на базі нечіткої логіки. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. № 3(116). С. 120–129. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.3.120-129>

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОЯСНЮВАНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ НОМОГРАМ У СЕРЕДОВИЩІ ORANGE

Проніна Ольга Ігорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, pronina_o_i@pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сучасні моделі машинного навчання з кожним днем набувають все більшого поширення завдяки здатності автоматично поліпшувати якість прогнозування на основі даних, що постійно накопичуються. З цієї сторони особливої важливості набувають методи моделей, що пояснюють, які забезпечують прозорість прийняття рішень та дозволяють оцінити внесок окремих ознак у результат. Аналіз текстів є одним із важливих напрямків машинного навчання, а саме обробка природної мови дозволяє машинам аналізувати, інтерпретувати та генерувати людську мову.

Зі збільшенням потужностей моделей машинного навчання зростає і необхідність у підвищенні якості пояснювання результатів, особливо це стосується аналізу текстів. Одним із таких інструментів для пояснення результатів є номограми, що надають візуальне відображення внесків кожної ознаки у рішення моделі машинного навчання для певного класу і дозволяють інтерпретувати логіку роботи моделі у зручній та інтуїтивно зрозумілій формі [1]. Використання номограм у середовищі Orange [2] робить процес аналізу доступним, оскільки

дає можливість наочно оцінити напрямок і силу впливу кожної ознаки на кінцевий прогноз. За рахунок цього можна виконувати дослідження які не тільки прагнуть отримати точні результати класифікації, але й детальне пояснення того, як саме модель їх формує. На рисунку 1 наведено номограму до вибірки текстів, що сформовані на творах української літератури.

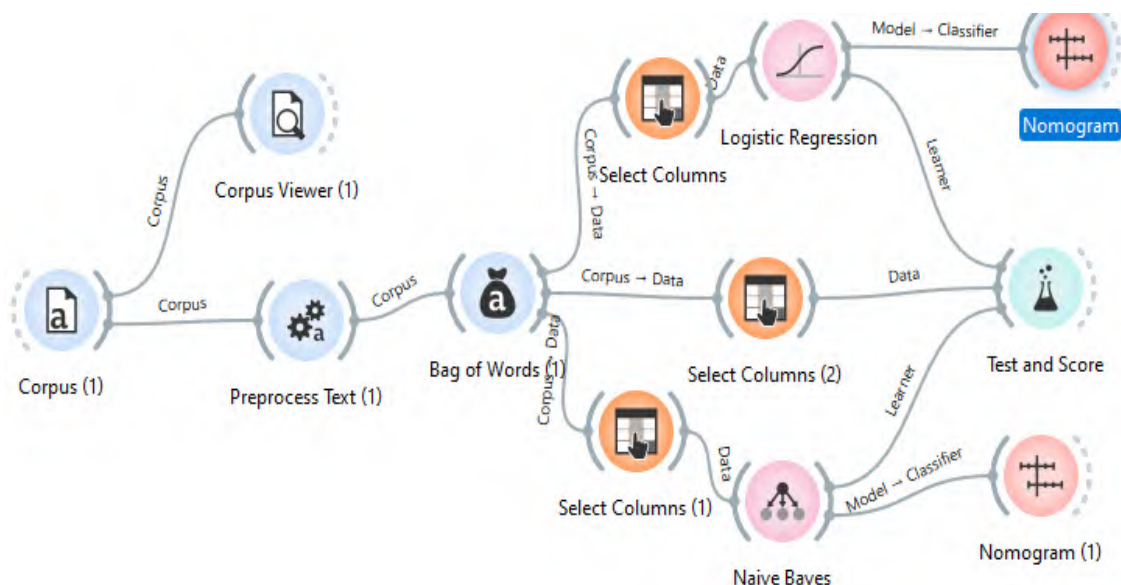


Рисунок 1 – Побудована математична модель векторизації тексту

Для того, щоб перевірити яка модель є більш підходящою для класифікацій за допомогою віджета Test and Score проводилась оцінка за всіма головними метриками [3], результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння двох моделей за основними метриками

Параметри/ Модель	Logistic Regression	Naive Bayes
AUC	0,482	0,513
CA	0,794	0,830
F1	0,134	0,066
Prec	0,140	0,103
Recall	0,129	0,048
MCC	0,018	-0,015

Результати роботи віджету «Nomogram» наведено на рисунку 2. Номограма демонструє, як модель логістичної регресії формує рішення щодо належності текстового запису до твору «Хіба ревуть воли, як ясла повні?» Панаса Мирного, що виступає у вигляді цільового класу. При цьому оцінка здійснюється у вигляді внеску кожної ознаки. Для аналізу були вибрані різні поля: цитати, короткі описи сюжету, інформація про автора та коментарі читачів. По кожному полю визначалось наскільки це значення притаманне для твору «Хіба ревуть воли, як ясла повні?». Позитивне зміщення точки на шкалі номограми означає, що відповідна ознака наближає прогноз до цільового класу (обраного твору), тоді як зміщення в лівий бік свідчить про її непоказовість або належність до інших книжкових категорій.

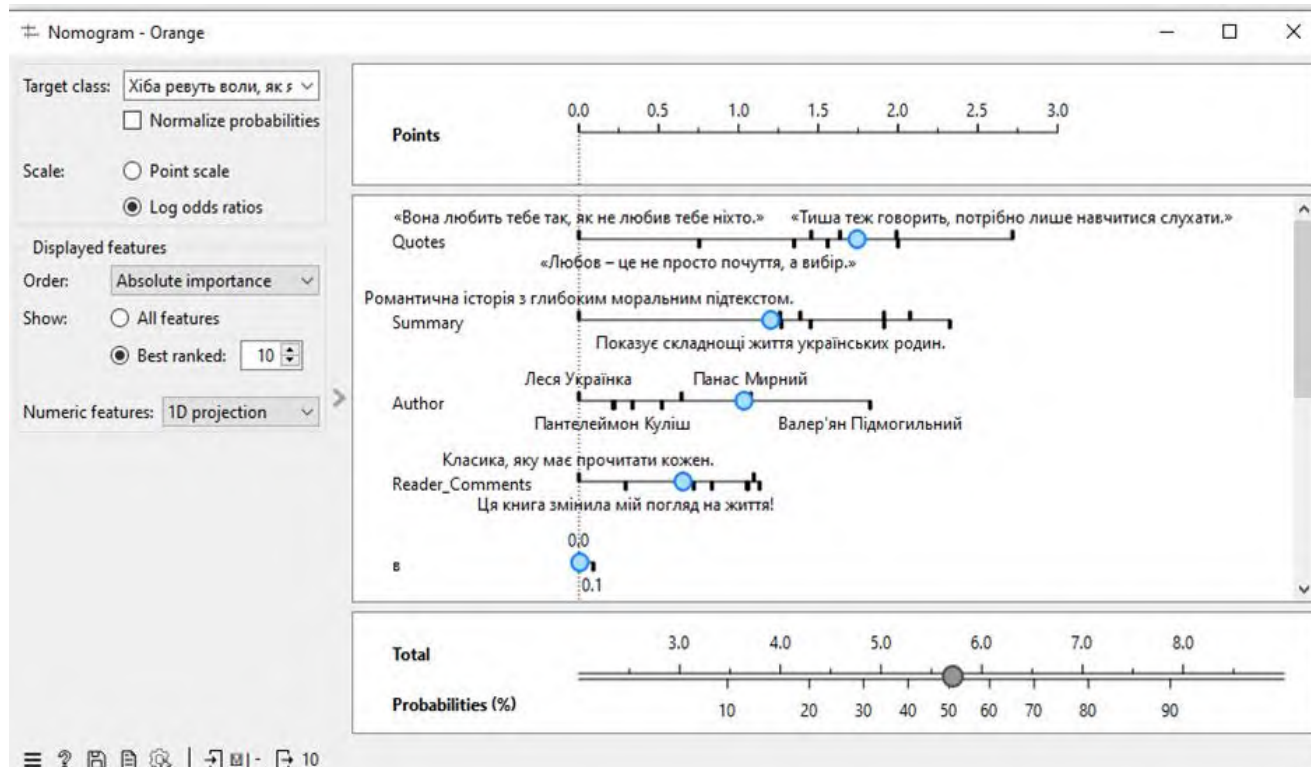


Рисунок 2 – Результати роботи віджету «Nomogram»

Найбільший позитивний вплив мали цитати та фрагменти описів, тематично пов'язані з соціальною проблематикою, моральними конфліктами та тематикою української родини, що є характерними для роману Панаса Мирного. В свою чергу емоційні коментарі читачів також підсилювали прогноз. Нейтральний або слабкий вплив формували короткі та малозмістовні фрагменти, які не містили специфічних маркерів. Негативний внесок спостерігався для фраз і формулювань, не характерних для стилю чи тематики роману Панаса Мирного. Підсумкова шкала номограми показує, що сукупний вплив ознак формує ймовірність на рівні приблизно 50–60%, тобто модель частково схиляється до цього класу, але не є повністю впевненою, що є типовою ситуацією для текстових даних, де окремі лексичні та стилістичні ознаки можуть перетинатися між жанрами та авторами.

Візуалізація дозволила зрозуміти не лише напрям впливу, а й силу кожного чинника, що є критично важливим для аналізу моделей, які вимагають прозорості та обґрунтованості рішень. Отримані результати демонструють, що номограма є ефективним інструментом пояснюваної аналітики, адже забезпечує інтерактивний, інтуїтивно зрозумілий підхід до інтерпретації моделей у задачах класифікації. Це дозволяє підвищити довіру до моделей, оптимізувати набір ознак та підтримувати прийняття обґрунтованих рішень у прикладних аналітичних сценаріях.

Список використаних джерел

1. Lei, Haikе & Li, Xiaosheng & Ma, Wuren & Hong, Na & Liu, Chun & Zhou, Wei & Zhou, Hong & Gong, Mengchun & Wang, Ying & Wang, Guixue & Wu, Yongzhong. (2022). Comparison of nomogram and machine-learning methods for predicting the survival of non-small cell lung cancer patients. *Cancer Innovation*. 1. 135-145. 10.1002/cai2.24.
2. Data Mining Fruitful and Fun. – Режим доступу: <https://orangedatamining.com/>.
3. Vujovic, Zeljko. (2021). Classification Model Evaluation Metrics. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Volume 12. 599-606. 10.14569/IJACSA.2021.0120670.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В РІЗНИХ РЕГІОНАХ

Проніна Ольга Ігорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, pronina_o_i@pstu.edu¹

Андрєєв Іван Андрійович, студент групи КН-24-М, andrieiev_i_a@students.pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Забруднення атмосферного повітря є серйозною глобальною проблемою для здоров'я людей і довкілля. Через урбанізацію, розвиток промисловості та транспорту зростають викиди шкідливих речовин, тому моніторинг якості повітря стає пріоритетом для держави, науки й суспільства. На рівень забруднення впливають різні чинники: метеорологічні умови, інтенсивність людської активності, географічні особливості. Основними джерелами забруднення є промислові підприємства, транспорт і сільське господарство, які викидають у повітря діоксид сірки, оксиди азоту, чадний газ, дрібнодисперсний пил, аміак, метан та інші шкідливі речовини. Тривалий вплив таких забруднювачів спричиняє хронічні респіраторні захворювання, серцево-судинні порушення та підвищує ризики онкологічних хвороб. Окрім впливу на здоров'я населення, забруднення повітря посилює закислення ґрунтів і вод, сприяє зміні клімату та має значні економічні наслідки.

Точне прогнозування якості повітря є критично важливим, однак традиційні методи часто є складними у реалізації та недостатньо точними. Останніми роками активно застосовується машинне навчання як інструмент підвищення якості прогнозів: алгоритми дають змогу виявляти закономірності в даних, передбачати пікові рівні забруднення та підтримувати ухвалення рішень щодо зменшення ризиків.

Для дослідження краще використати відкритий набір даних із платформи Kaggle, що містить 5000 спостережень про якість повітря в різних регіонах. До основних ознак належать температура повітря, відносна вологість, концентрації дрібнодисперсного пилу PM2.5 та PM10, діоксиду азоту (NO₂), діоксиду сірки (SO₂), чадного газу (CO), відстань до найближчої промислової зони та густота населення. Цільова змінна описує рівень якості повітря з поділом на чотири класи: «Good», «Moderate», «Poor» та «Hazardous». Розподіл ознак проілюстровано відповідним графіком на рисунку 1.

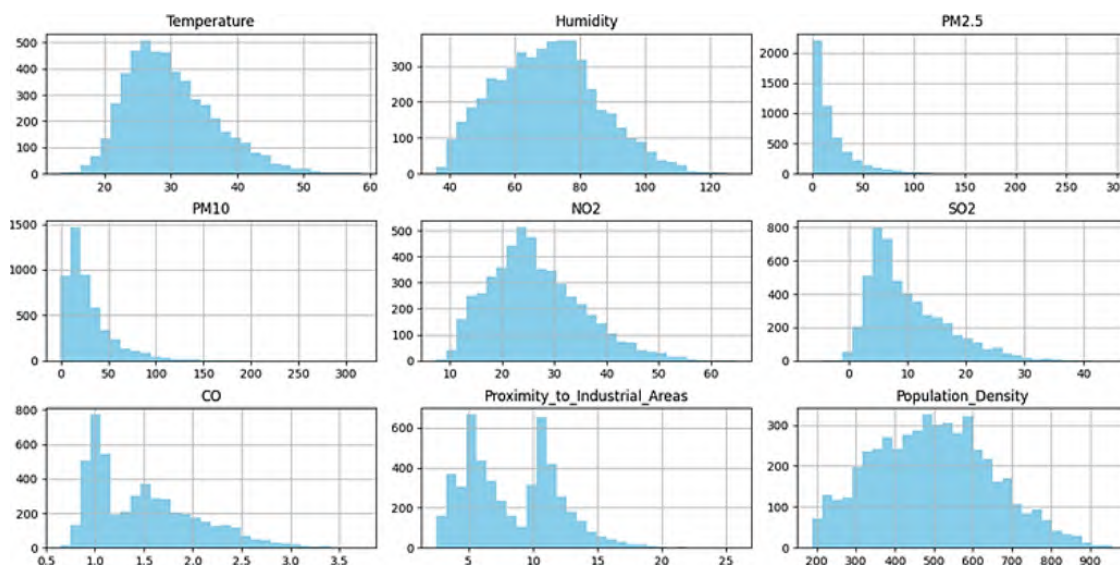


Рисунок 1 – Гістограма ключових ознак у наборі даних

Пропущені значення заповнювалися за допомогою медіани та інтерполяції, проводилося згладжування шуму. Для оцінки взаємозв'язків між параметрами побудовано кореляційну матрицю та парні діаграми розсіювання, що дало змогу виявити найбільш інформативні ознаки.

В роботі було вирішено перевірити основні моделі машинного навчання для визначення більш підходящої моделі для задачі оцінки повітря. Щоб уникнути перенавчання, вибірку було поділено на навчальну й тестову підвибірки. Для навчання використовувалося 80 % даних, а для тестування – решта 20 %. Початкова логістична регресія використовувалася з L2-регуляризацією та розв'язувачем lbfgs, що відповідає стандартним налаштуванням бібліотеки scikit-learn. Наступний метод k-найближчих сусідів було реалізовано з кількістю сусідів 5 та евклідовою відстанню як метрикою подібності. При цьому модель методу опорних векторів застосовувалася з радіально-базисним ядром, параметром 1,0 та значенням scale.

Дерево рішень підхід більш глибокий, де будувалося з використанням критерію розщеплення Джині та обмеженням максимальної глибини дерева до чотирьох рівнів. Додатково було зафіксовано початковий стан генератора випадкових чисел, який дорівнює 42, за для відтворюваності результатів. Окрім цього, обчислювалися початкова ентропія вибірки та ентропія в листках після кожного розщеплення, що дозволило кількісно оцінити зменшення невизначеності під час побудови моделі. Модель випадкового лісу складалася зі ста дерев у ансамблі й використовувала типові параметри розщеплення вузлів. Градієнтний бустинг налаштовувався на сто базових дерев глибиною три рівні зі швидкістю навчання 0,1.

Загальне порівняння точності всіх розглянутих моделей наведено в таблиці 1 [1].

Таблиця 1 – Порівняння точності моделей для оцінки якості повітря

Модель	Точність
Логістична регресія	85%
Метод k найближчих сусідів	78%
Метод опорних векторів	76%
Дерево рішень	100%
Випадковий ліс	96%
Градієнтний бустинг	95%

Окрім інтегрального показника точності, для всіх розглянутих моделей було сформовано класифікаційні звіти, що включають значення precision, recall, F1-міри для кожного з чотирьох класів якості повітря. Аналіз цих метрик показав, що моделі загалом найкраще розпізнають найбільш представлений у вибірці клас «Good», тоді як для класів «Poor» та «Hazardous» показники точності й повноти є дещо нижчими, що пов'язано з дисбалансом даних між окремими категоріями.

Методи машинного навчання дають змогу істотно підвищити точність прогнозування рівнів якості повітря порівняно з традиційними підходами. Особливо ефективними виявляються ансамблеві алгоритми, такі як випадковий ліс і градієнтний бустинг, які краще враховують нелінійні зв'язки між метеорологічними параметрами, концентраціями забруднювачів та інтегральними індексами стану повітря. Окремої уваги потребує дерево рішень, що демонструє дуже високу точність.

Інші відносно прості моделі, зокрема логістична регресія, метод опорних векторів або K найближчих сусідів, можуть використовуватися як базові орієнтири, але загалом поступаються ансамблевим підходам за якістю узагальнення.

Разом із тим ефективність будь-якої моделі суттєво залежить від повноти, якості, репрезентативності вхідних даних, а також від наявності дисбалансу між класами забруднення. Тому перспективним вважається поєднання потужних алгоритмів машинного навчання з розширеними джерелами даних та інтеграція таких моделей у системи підтримки прийняття рішень у сфері екологічної безпеки.

Список використаних джерел

1. Rahman, Md Shohanur. (2024). Understanding accuracy metrics in machine learning models. 10.13140/RG.2.2.16140.83841.

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЗВИЧКАМИ ЛЮДИНИ

Рудь Ігор Вадимович, здобувач вищої освіти

на першому (бакалаврському) рівні, igorryd7@gmail.com

Доренський Олександр Павлович, доцент, канд. техн. наук,

доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, dorenskyiop@kntu.kr.ua

Центральноукраїнський національний технічний університет

Сьогодні IT-рішення реалізуються на основі технологій штучного інтелекту [1-3]. Тож, впровадження інтелектуального аналізу даних для системи управління звичками людини стає актуальною задачею. З розвитком інформаційних технологій, таких як генеративний штучний інтелект, який змінює індустрію, це - можливість впровадити ефективний аналіз даних у систему управління звичками. ШІ став невід'ємною частиною життя людей, і його використання зростатиме й надалі [4].

Важливим аспектом, управління звичками людини є усвідомлення поведінкових патернів, тобто дій або ситуацій, які спричинили ту чи іншу реакцію, як от звичку. Під патерном у цій праці розуміється причинно-наслідковий елемент в системі управління звичками, який надає змогу людині виявити повторювані патерни самостійно або за допомогою штучного інтелекту. Наразі існує дуже мало IT-рішень, які могли б забезпечити цей надважливий аспект.

IT-проект передбачає реалізацію програмного забезпечення системи інтелектуального аналізу даних. Вебмодуль, який був покладений в основу цієї системи, виконуватиме серверні функції, а саме надання API клієнтам, реалізуючи таким чином клієнт-серверну модель. Також комунікуватиме через інтернет із сервісами OpenAI та базою даних.

На рис. 1 представлено модель системи. Вона описує процеси комунікації через інтернет та захищений протокол HTTPS, а також вебмодуль, що є основним компонентом, який виконує серверні функції. Компонент вебмодуля складається із вебсерверу, який проксує запити, вебдодатку, що виконує всю бізнеслогіку застосунку, реляційної бази даних для надійного збереження довготривалих даних та швидкого сховища даних Redis для збереження асинхронних задач. Варто зазначити, вебмодуль з'єднується із одним із зовнішніх сервісів OpenAI – ResponsesAPI. Це забезпечує можливість імплементувати інтелектуальний аналіз даних шляхом сервісів генеративного ШІ. Представлена модель забезпечує вирішення задач інтелектуального аналізу даних для управління звичками людини через швидкодію обробки запитів та використання можливостей ШІ для аналізу даних.

Важливим елементом моделі, є сервіс ResponsesAPI від OpenAI - провідного гіганта в сфері штучного інтелекту. OpenAI надає багато можливостей для інтелектуального аналізу даних, зокрема комунікація із флагманськими моделями. Разом з тим, запропонована модель є уособленням клієнт-серверної архітектури та MVC, що забезпечить її зручність в реалізації, гнучкість до впровадження нових змін. Саме модель, де використовується реляційна база даних для персистентного зберігання даних та Redis для швидкого отримання даних, забезпечує належну швидкість отримання даних. Це вкрай важливо у високонавантажених системах.

Вебсервер nginx, який виступає в ролі проксі та відправляє запити до Laravel додатку, забезпечує належну швидкодію при високих навантаженнях. Laravel фреймворк зі своїм підходом до розробки вебдодатків став де-факто одним з найуспішніших вебфреймворків для створення швидких вебдодатків, використовуючи PHP. Тож, кожен компонент запропонованої моделі є невід'ємною частиною для реалізації IT-проекту управління звичками людини.

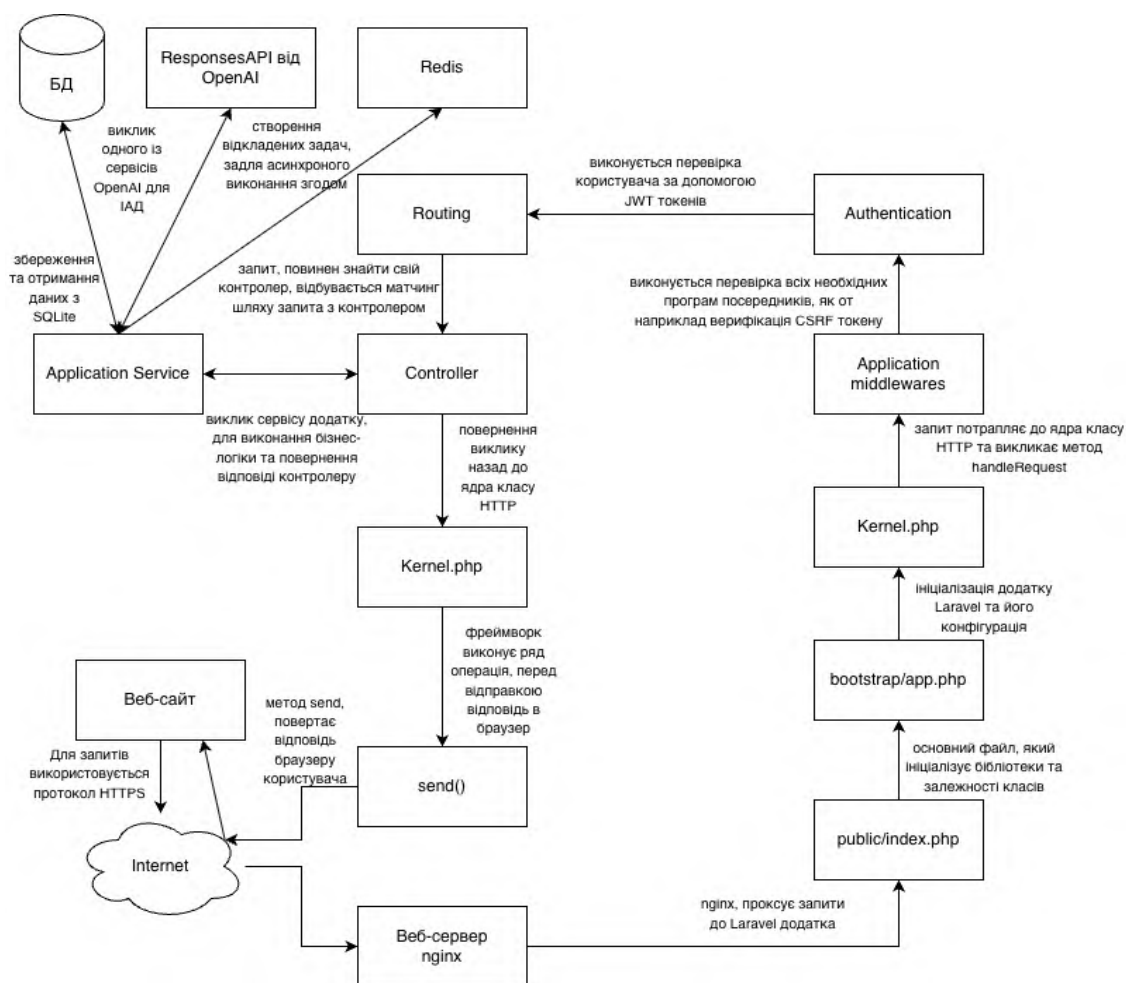


Рисунок 1 – Концептуальна модель системи інтелектуального аналізу даних для управління звичками людини

Запропонована модель є підґрунтям для проектування й програмної реалізації системи інтелектуального аналізу даних для управління звичками. Її програмна реалізація матиме змогу досить легко розширюватись та впроваджувати новий функціонал, а також підтримувати існуючий. Покладені технології в основу моделі дають впевненість у вирішенні поставлених завдань. Варто зазначити, що технології, які були використані під час проектування моделі, пройшли перевірку часом і зарекомендували себе як надійні технології, імплементовані у вебдодатки, які використовуються по всьому світу. Подальшим є тестування моделі, проектування й реалізація інтелектуального аналізу даних для управління звичками людини.

Список використаних джерел

1. Korniienko O., Kozub N., Dorenskyi O. Method and Technological Solution of an AI-Based Adaptive Investor Survey Service for Determining an Individual Risk Profile. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. Issue 11(42), Part II. P. 3-10. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.3-10.
2. Шелехов І.В., Прилепа Д.В., Хібовська Ю.О., Шамонін К.Є., Доренський О. П. Інформаційно-екстремальна технологія інтелектуального аналізу якості освітнього контенту в закладах вищої освіти. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч. 1. (Препринт Центральноукр. нац. техн. ун-т).
3. Kachurivskiy, V., Kotovskyi, A., Lykhodid, T., Kachurivska, H., Dorenskyi, O. The Concept of Digital Transformation of Monitoring Scientific Activity of Participants in Educational Process of the Ukrainian HEI. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 1. С. 27–36. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.27-36.
4. 5 Ways Artificial Intelligence Is Affecting Our Daily Lives. URL: <https://www.linqto.com/blog/ways-artificial-intelligence-ai-is-affecting-our-daily-lives/> (дата звернення 10.11.2025).

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНАЧУЩОСТІ ОЗНАК У ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ GPS-СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ XGBOOST

Сергєєв Віктор Михайлович, аспірант кафедри комп'ютерних наук,
viktor.serhieiev@gm.sumdu.edu.ua¹

П'ятаченко Владислав Юрійович, PhD., асистент кафедри комп'ютерних наук,
vl.piatachenko@cs.sumdu.edu.ua¹

¹Сумський державний університет, м.Суми

Система глобального позиціонування сьогодні широко використовується у різних сферах діяльності – від навігації та логістики до моніторингу об'єктів і транспортних засобів. Проте її цивільна версія залишається вразливою через відкритий стандарт передачі сигналів і відсутність механізмів перевірки автентичності [1]. Це дає змогу злоумисникам здійснювати підміну координат – так звані атаки GPS-спуфінгу.

Для виявлення таких атак ефективним підходом є застосування методів машинного навчання, які аналізують параметри руху – координати, швидкість, кутові прискорення та інші характеристики – і дозволяють визначити відхилення, що свідчать про спроби підміни сигналу.

У даній роботі використано ансамблевий метод eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), який добре зарекомендував себе у задачах класифікації та виявлення аномалій. Основною його перевагою є здатність враховувати складні залежності між ознаками, оскільки рішення приймається на основі сукупності дерев рішень (рис.1). Крім того, XGBoost не потребує великого обсягу навчальних даних, оптимізований для роботи з числовими послідовностями та містить механізми регуляризації, що зменшують ризик перенавчання.

Для перевірки ефективності підходу було проведено експериментальну оцінку на реальних GPS-даних, отриманих з публічних джерел. Навчання моделі було проведено з використанням кількох незалежних датасетів [2, 3], з яких попередньо вилучено спільні ознаки. Навчання здійснювалось поетапно: для кожного набору даних створювався бустер на основі попередньої моделі, після чого класифікатор XGBClassifier донавчався з тими самими гіперпараметрами. Спостереження за зміною вагових коефіцієнтів важливості ознак після кожного етапу показали, що модель гнучко реагує на нові дані та добре адаптується до їхніх статистичних особливостей.

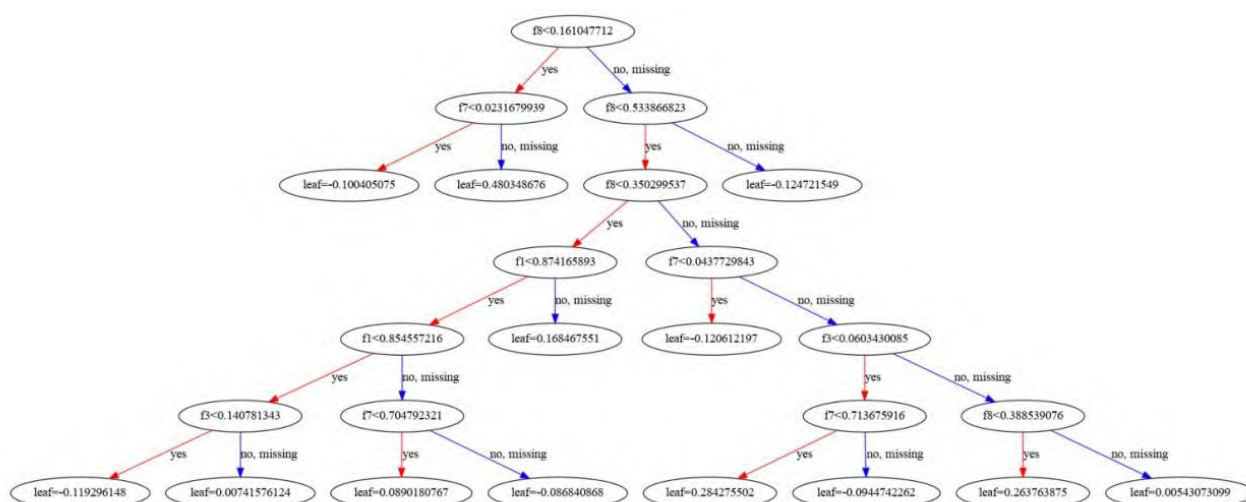


Рисунок 1 – Дерево рішень з ансамблю XGBoost

Для навчання було використано п'ять GPS-датасетів, що містили координатні, швидкісні, кутові та вібраційні параметри польоту безпілотної літальної апарату. Модель XGBoost

тренувалася у співвідношенні 80/20 для train/test, а якість оцінювалася за метриками precision, recall та f1-score.

На основних наборах даних (AV-GPS-Dataset-1 та AV-GPS-Dataset-2) досягнуто майже ідеальної класифікації (accuracy та f1-score = 1.00), що свідчить про здатність моделі точно відокремлювати нормальні та атаковані сигнали. Найбільш значущими ознаками виявилися вібраційні параметри, зокрема *vibration_longitudinal*, а також вертикальна швидкість і висота польоту. Це вказує, що атаки GPS-спуфінгу відображаються не лише у зміні координат, а й у динамічних характеристиках руху апарата, які залишаються стабільними у реальних умовах і різко змінюються під час фальсифікації сигналу.

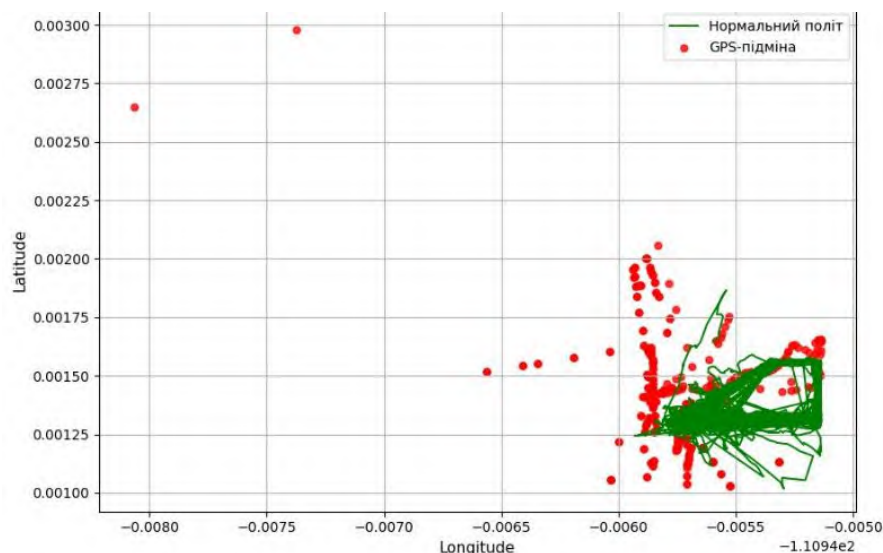


Рисунок 2 – Траєкторія руху апарата за GPS координатами набору Dataset-1

На рисунку 2 показано фактичну траєкторію польоту апарата, побудовану за GPS-координатами. Зелена ділянка відповідає нормальному режиму, тоді як червоні точки позначають координати, спотворені внаслідок атаки GPS-спуфінгу. Видно суттєві стрибки позиції, які не можуть бути пояснені реальною динамікою руху. Це свідчить про зсув приймача під дією підробленого сигналу.

Для кращого розуміння поведінки навігаційної системи під час атаки виконано масштабування зони GPS-спуфінгу (рис. 3). У нормальному режимі траєкторія польоту компактна та стабільна. Після початку атаки спостерігається хаотичне розсіювання точок, яке відображає втрату стабільності навігаційного рішення. Це підтверджує можливість використання координатної дисперсії як діагностичної ознаки для виявлення підміни сигналів.

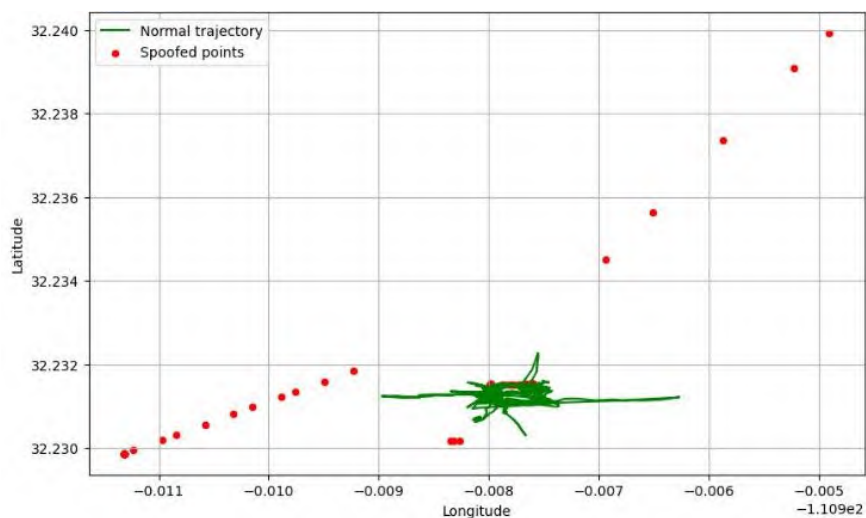


Рисунок 3 – Траєкторія руху апарата за GPS координатами набору Dataset-2

Зокрема причиною зниження точності класифікації на піднаборі AV-GPS-Dataset-3 може бути часткове накладання спуфінг-координат на реальну траєкторію руху (рис. 4). На відміну від попередніх наборів, де аномалії мали чіткі просторові стрибки, у цьому випадку підміна виконувалася поступово, що призвело до зближення статистичних характеристик нормальних та атакваних даних. У результаті модель, навчена на більш контрастних прикладах (Dataset-1, Dataset-2), не змогла узагальнити знання на новий сценарій з м'яким спуфінгом. Це також підсилює ефект доменного зсуву, пов'язаний із різними маршрутами, рівнем шуму сигналу та параметрами руху апарата.

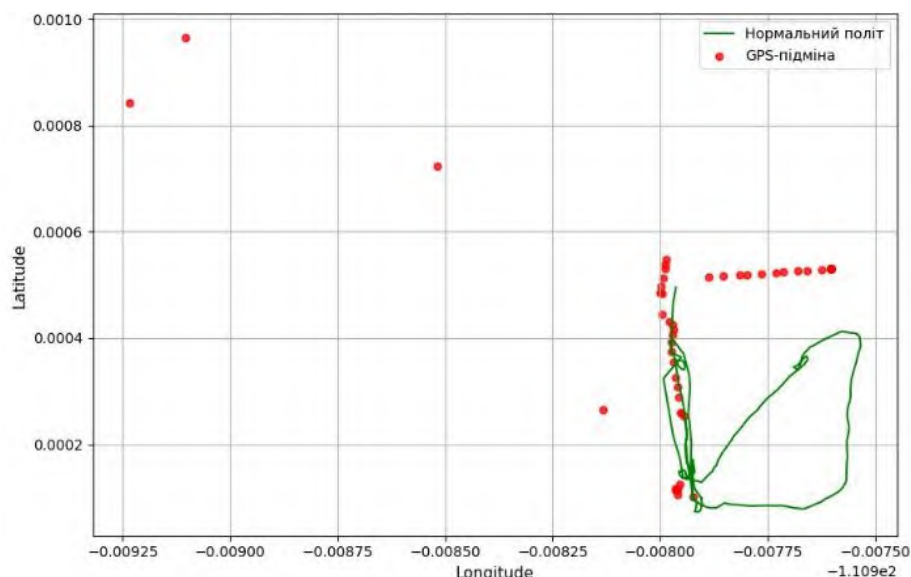


Рисунок 4 – Траєкторія руху апарата за GPS координатами набору Dataset-3

Отримані результати показують, що точність XGBoost істотно залежить від узгодженості даних між навчальною та тестовою вибірками. Модель добре адаптується до внутрішніх варіацій у межах одного середовища, проте втрачає стійкість при зміні джерела або структури сигналів. Це типова поведінка ансамблевих методів, які ґрунтуються на статичних закономірностях ознак і не враховують часової динаміки процесу, що підкреслює потребу у глибших архітектурах – наприклад, LSTM або CNN у ролі екстракторів часових ознак.

Таким чином, XGBoost ефективно виявляє координатні та динамічні аномалії в даних БПЛА, але його робастність знижується за зміни умов середовища. Для підвищення узагальнювальної здатності доцільно застосовувати гібридні моделі, де нейронна мережа виконує роль екстрактора ознак, а XGBoost – роль класифікатора. Подібний підхід уже довів ефективність у наших попередніх дослідженнях [4], де поєднання LSTM/CNN-екстракторів із класичними класифікаторами (XGBoost, SVM) забезпечило кращу стійкість до варіацій у вхідних сигналах.

Список використаних джерел

1. Humphreys, T. Statement on the Vulnerability of Civil Unmanned Aerial Vehicles and Other Systems to Civil GPS Spoofing; The University of Texas at Austin: Austin, TX, USA, 18 July 2012; pp. 1–16.
2. Wei, X.; Sun, C.; Lyu, M.; Song, Q.; Li, Y. CONSTDET: Control Semantics-Based Detection for GPS Spoofing Attacks on UAVs. *Remote Sens.* 2022, 14, 5587. <https://doi.org/10.3390/rs14215587>
3. GitHub - mehrab-abrar/AV-GPS-Dataset: AV-GPS-Dataset: Autonomous Vehicle GPS Dataset | An extensive collection autonomous vehicle navigation data with real-world GPS spoofing attack instances. GitHub. URL: <https://github.com/mehrab-abrar/AV-GPS-Dataset>
4. Piatachenko V., Serhieiev V. HYBRID APPROACH FOR TEMPORAL FEATURE EXTRACTION AND SPOOFING DETECTION IN UAV DATA. *Transactions of Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi National University.* 2025. No. 3. P. 90–96. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.3.10>

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ РЕСУРСІВ ДОМОГОСПОДАРСТВ ТА МІНІМІЗАЦІЇ FOOD WASTE

Сергієнко Анастасія Валентинівна, доцент, канд. техн. наук, зав.кафедрою
інформатики, sergienko_a_v@pstu.edu¹

Браткевич Валентин Павлович, студент групи BT-24-M, bratkevychv@gmail.com¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У сучасному світі проблема нераціонального споживання харчових продуктів набуває критичного значення як з економічної, так і з екологічної точок зору. За даними досліджень, значна частина продовольства у домогосподарствах псується та викидається через відсутність ефективного планування закупівель та невміння раціонально використовувати наявні залишки. Існуючі програмні рішення (трекери калорій, книги рецептів) фокусуються переважно на дієтологічних аспектах, ігноруючи проблему управління запасами.

У магістерській роботі розроблено концепцію та програмний прототип інтелектуальної системи, яка вирішує задачу комплексного управління харчовими ресурсами домогосподарства. Ключовою особливістю системи є використання алгоритмів машинного навчання для персоналізації раціону з пріоритетом на використання продуктів, термін придатності яких спливає.

Архітектура розробленої системи базується на двох основних модулях. Перший – модуль обліку та розпізнавання продуктів, що дозволяє користувачеві підтримувати актуальний стан «віртуального холодильника». Другий – рекомендаційна система на базі контент-фільтрації, яка генерує план харчування, максимізуючи використання наявних продуктів та мінімізуючи необхідність додаткових закупівель.

Ефективність запропонованого підходу було перевірено експериментально. Аналіз даних, отриманих під час тестування системи (зокрема, порівняння метрик до та після впровадження), продемонстрував значний позитивний вплив на бюджет домогосподарства. Як свідчать побудовані графіки розподілу витрат (Boxplot analysis), середні місячні витрати на продукти харчування знизилися завдяки зменшенню спонтанних покупок та повному використанню придбаних товарів.

Окрім економічного ефекту, зафіксовано зміну поведінкових патернів користувачів. Аналіз пелюсткових діаграм показує зростання збалансованості раціону при одночасному зниженні частки викинутих продуктів. Це підтверджує гіпотезу, що цифрові асистенти з елементами штучного інтелекту здатні формувати сталі екологічні звички у користувачів без погіршення якості їхнього життя.

Таким чином, розроблена система демонструє, як технології Data Science можуть бути імплементовані у побутову сферу для вирішення глобальної проблеми харчових відходів на рівні окремого домогосподарства.

Список використаних джерел

1. Балалаєва О.Ю. Розробка мобільного додатка на основі штучного інтелекту для зменшення харчових відходів та покращення якості життя населення / О.Ю. Балалаєва, І.Ф. Марченко, В.П. Браткевич, Н.О. Соколова, А.Ю. Дереза // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2025. – Вип. 50. – С. 31–39.
2. Min-Kyung Lee. Personalized Food Recommendation System Using Deep Learning / Lee Min-Kyung, Kim Dong-Hee // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2024. – Vol. 15. – P. 2105–2115.
3. Food Waste Index Report 2024 [Електронний ресурс] / United Nations Environment Programme. – Nairobi, 2024. – Режим доступу: <https://www.unep.org/resources/report/food-waste-index-report-2024>.
4. Rashid M. Intelligent Diet Planning and Nutrition Management System / M. Rashid, H. Ahmed // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 15302–15315.

ВИКОРИСТАННЯ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ У ЗАДАЧАХ ПРОЄКТУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Сергієнко Анастасія Валентинівна, доцент, канд. техн. наук, зав.кафедрою інформатики, sergienko_a_v@pstu.edu¹

Волобуєв Єгор Сергійович, студент групи BT-24-M, volobuiev_y_s@students.pstu.edu¹
¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Проектування та оптимізація фізичних об'єктів становлять важливу сферу досліджень у багатьох інженерних дисциплінах, включаючи авіакосмічну, автомобільну, оборонну, цивільну інфраструктуру та біомедичні застосування. У даній роботі буде досліджено автоматизацію процесу проектування та оптимізацію (з точки зору ціни та ваги) таких об'єктів як ударостійкі поверхні.

Актуальність обраної теми зумовлена зростаючою потребою у матеріалах і структурах, здатних витримувати екстремальні механічні навантаження, залишаючись при цьому легкими, економічно ефективними та сталими. Сфера застосувань охоплює ключові галузі, такі як аерокосмічна промисловість, оборона, транспорт, цивільне будівництво та засоби індивідуального захисту, де відмова матеріалів під час удару може мати серйозні наслідки для безпеки, економіки та суспільства.

В останні роки штучний інтелект (ШІ) постає перспективним інструментом для вдосконалення процесу автоматичного проектування фізичних об'єктів. Зокрема, алгоритми машинного навчання дають змогу виявляти нелінійні взаємозв'язки та приховані закономірності у великих наборах даних, що охоплюють властивості матеріалів, структурні конфігурації та результати експериментів [1]. На відміну від традиційних методів, моделі, керовані ШІ, здатні швидко прогнозувати реакцію поверхні на удар у широкому діапазоні умов, водночас зменшуючи потребу в обчислювально затратних симуляціях і повторних фізичних випробуваннях. Крім того, методи ШІ сприяють багатокритеріальній оптимізації [2], забезпечуючи систематичне дослідження простору проектних рішень для досягнення бажаних компромісів між міцністю, вагою, вартістю та технологічністю.

Метою даної роботи є демонстрація та аналіз використання еволюційних алгоритмів для автоматичного проектування ударостійких поверхонь. Досягнення поставленої мети передбачає створення додатку, який зможе візуалізувати симуляцію зіткнення швидкісних об'єктів з ударостійкими поверхнями та автоматично генерувати ці поверхні (самостійно обираючи матеріал на товщину поверхні), оптимізуючи їх ціну та вагу у процесі еволюції.

Для реалізації цього проєкту було обрано багатоплатформовий інструмент для розроблення відеоігор і застосунків Unity. Для написання скриптів використовувалася мова програмування C#.

Розроблений додаток включає наступні компоненти:

1. Графічний інтерфейс користувача (рис. 1) – забезпечує відображення інформації про кожний зразок симуляції, дозволяє керувати швидкістю візуалізації симуляції, дозволяє обрати яке з поколінь симуляцій візуалізувати, інформує про прогрес симуляції, дає користувачу поради щодо кнопок, якими можна контролювати візуалізацію симуляцій.

2. Візуалізатор симуляцій – дозволяє користувачам побачити абстрактну репрезентацію процесу зіткнення швидкісного об'єкту та ударостійкої поверхні для кожної окремої симуляції кожного покоління.

3. Менеджер еволюції – виконує розрахунки необхідні для симуляції кожного зіткнення та самого процесу еволюції, визначає характеристики матеріалів ударостійких поверхонь, зберігає інформацію про кожне покоління етап еволюції для подальшої візуалізації за допомогою візуалізатора симуляцій.

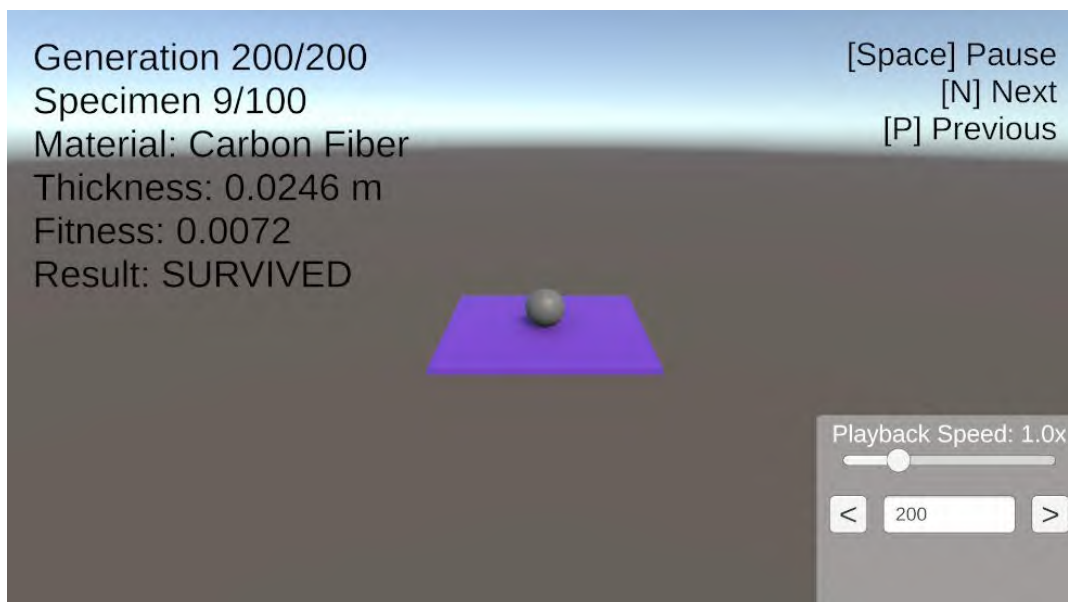


Рисунок 1 – Графічний інтерфейс користувача

Для демонстрації використовується спрощена фізична модель та абстрактні відносні значення змінних. Вхідні дані програми описано у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вхідні дані

	Алюміній	Вуглецеве волокно	Пластик	Сталь	Дерево
Щільність	2700	1600	950	7850	600
Стійкість	5	10	2	8	1
Ціна за од. ваги	2	6	1	3.5	0.5

Додаткові характеристики симуляції: маса швидкісного об'єкту – 50, гравітація – 9.81, висота падіння – 5, кількість поколінь еволюції – 200, кількість зразків у кожному поколінні – 100, мінімальна товщина поверхні – 0.001, максимальна товщина поверхні – 0.1.

Результати еволюційного процесу та симуляцій було зібрано у таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати роботи програми

	Вуглецеве волокно	Алюміній	Сталь	Дерево	Пластик
Товщина	0.0245	0.0491	0.0307	0.1000	0.1000
Вага	39.2	132.57	240.995	60	95
Ціна	235.2	265.14	843.4825	30	95
Цілісність	Уціліло	Уціліло	Уціліло	Зламалося	Зламалося
Придатність	0.0072	0.0050	0.0018	0.000224	0.000213

Використаний у цій програмі елітарний одноцільовий генетичний алгоритм зміг знайти одне оптимальне компромісне рішення для кожного матеріалу.

Функція придатності оцінює чи витримала поверхня зіткнення зі швидкісним об'єктом, також оцінюються такі показники як ціна та маса поверхні. Якщо потрібно знайти множину компромісних рішень (фронт Парето), треба використовувати багатоцільові алгоритми. В даному випадку, у цілях демонстрації, було знайдено одне компромісне рішення де ціна на маса поверхні мають однакову вагу для розрахунку придатності.

Таким чином була доведена можливість та ефективність використання генетичних алгоритмів для автоматичного проєктування фізичних об'єктів на прикладі проєктування ударостійких поверхонь.

Список використаних джерел

1. Гудфеллоу Я., Бенджіо І., Курвілль А. Глибоке навчання. MIT Press, 2016. С. 96.
2. Кононюк А. Нейроні мережі і генетичні алгоритми. Київ, 2008. С. 199–200.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ШВИДКОСТІ ВІДГУКУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ ПРОГРАМНОГО ПОМІЧНИКА З ГРАФІЧНИМ ІНТЕРФЕЙСОМ

Сергієнко Анастасія Валентинівна, доцент, канд. техн. наук, зав.кафедрою
інформатики, sergienko_a_v@pstu.edu¹

Стеців Ярослав Володимирович, студент групи BT-24-M,
stetsiv_y_v@students.pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сьогоднішні інтелектуальні системи працюють із великими обсягами даних та застосовують складні моделі, які вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Зі зростанням складності моделей збільшується і час обробки запиту.

Коли користувач чекає на відповідь навіть дві-три секунди, це вже сприймається як уповільнення роботи. Тому головне питання: як зробити такі системи максимально швидкими, ефективними та стабільними, не збільшуючи при цьому апаратні ресурси?

Об'єктом дослідження є інтелектуальні програмні системи – ті, що здатні аналізувати інформацію, робити висновки та взаємодіяти з користувачем. Предмет – методи, які дозволяють підвищити їхню продуктивність і прискорити час відгуку: від кешування й асинхронності до паралельної обробки та компресії моделей.

Метою моєї роботи було створити прототип інтелектуального помічника з графічним інтерфейсом і експериментально дослідити, які методи оптимізації дійсно дають відчутний ефект.

Для цього я виконав такі кроки:

1. проаналізував архітектури існуючих систем – ChatGPT, Microsoft Copilot, Siri, Mycroft;
2. виявив їхні основні переваги та слабкі місця;
3. спроектував модель власного AI-помічника з графічним інтерфейсом;
4. реалізував прототип на Python із використанням сучасних інструментів штучного інтелекту;
5. впровадив та протестував різні методи оптимізації: кешування відповідей, асинхронну обробку, паралельність, оптимізацію API-запитів та компресію моделей;
6. провів вимірювання швидкодії до та після оптимізації.

В рамках роботи було створено математичну модель, яка описує залежність загального часу відповіді системи від її внутрішніх параметрів: кількості потоків, ефективності використання ресурсів та коефіцієнта кешування.

Модель чітко показує навіть невелике збільшення паралельності або кешування та дає помітне зменшення часу реакції.

Також побудовано об'єктно-орієнтовану модель, що включає ключові модулі:

- інтерфейс користувача,
- процесор запитів,
- AI-ядро,
- базу знань,
- кеш,
- модуль моніторингу,
- та мережевий адаптер.

Ця структура дозволяє чітко відокремити логіку обробки, оптимізації та взаємодії з користувачем.

На основі моделі було створено інтелектуального помічника з графічним інтерфейсом. Система підтримує роботу в реальному часі, відповідає на текстові запити й використовує сучасні AI-моделі.

Було додано:

- асинхронну взаємодію для уникнення блокувань,
- кешування частих запитів,
- паралельну обробку важких операцій,
- оптимізацію використання CPU та мережі.

Усе це дозволило значно підвищити стабільність і швидкість інтерфейсу.

Перед оптимізацією система мала помітні затримки, інколи підвисала при одночасних запитах і споживала багато ресурсів.

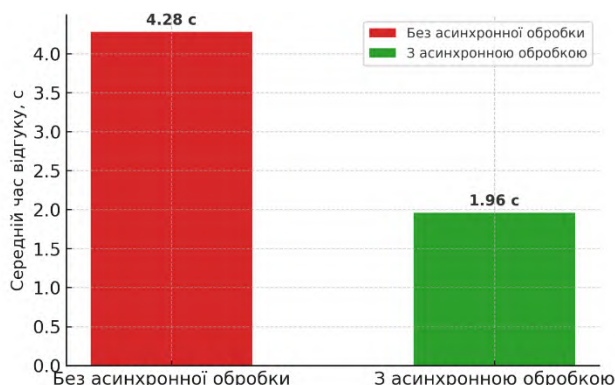


Рисунок 1 – Порівняння часу відгуку системи до та після впровадження асинхронної архітектури

Після застосування комплексу оптимізацій:

- середній час відповіді зменшився в 2-4 рази;
- знизилася навантаження на процесор;
- інтерфейс став реагувати миттєво;
- система витримувала більшу кількість паралельних запитів.

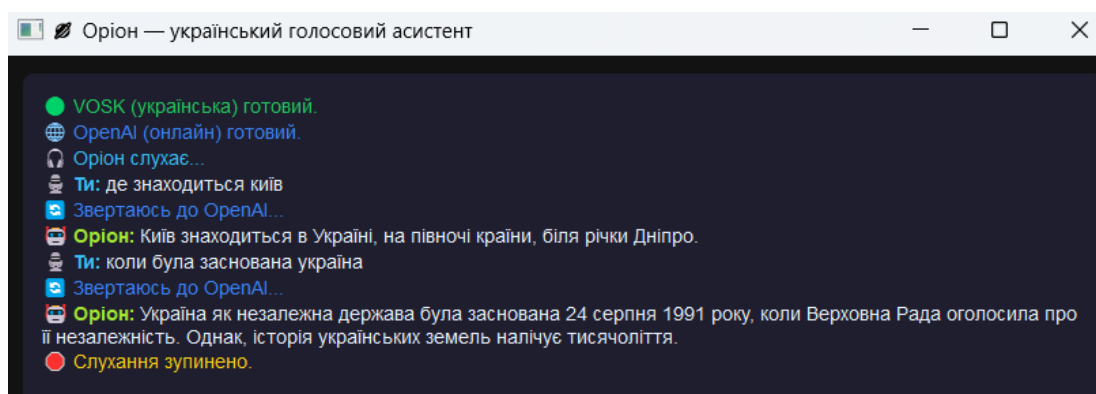


Рисунок 2 – Вікно програми під час роботи з голосовими командами

Результати роботи можуть бути використані для:

- покращення роботи чат-помічників,
- оптимізації веб- та десктопних AI-додатків,
- модернізації систем технічної підтримки,
- створення навчальних платформ,
- аналітичних та рекомендаційних систем.

Тобто підхід універсальний і може бути інтегрований у будь-які проєкти, де важлива швидкість реакції та стабільність.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз режимів роботи

Параметр	Онлайн (OpenAI)	Офлайн (GPT4All)
Час відгуку на складний запит	2.84 с	3.65 с
Якість відповіді (за оцінкою користувачів, 1–10)	9.6	8.4
Використання CPU	17%	43%
Вимоги до мережі	15–60 КБ/запит	0 КБ
Залежність від інтернету	Висока	Відсутня
Стабільність при втраті зв'язку	Низька	Висока

Таблиця 2 – Результати вимірювання часу відгуку

Тип запиту	Онлайн режим (OpenAI)	Офлайн режим (GPT4All)
Прості команди	0.65 с	0.48 с
Обчислювальні команди	0.92 с	0.73 с
Аналітичні команди	2.84 с	3.65 с

Проведене дослідження показало, що оптимізація продуктивності – це не другорядна задача, а ключовий елемент проєктування інтелектуальних систем.

Власний прототип на практиці довів, що правильно підібрані методи кешування, паралелізації та асинхронної обробки дозволяють суттєво прискорити роботу системи без збільшення апаратних витрат. Результати роботи можуть стати основою для подальших досліджень і реального впровадження у сучасні AI-рішення.

Список використаних джерел

- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- LeCun Y., Bottou L., Orr G., Müller K. Efficient BackProp. In: *Neural Networks: Tricks of the Trade*. Springer, 2012.
- Vaswani A. et al. Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2017.
- Sutskever I., Martens J., Dahl G., Hinton G. On the Importance of Initialization and Momentum in Deep Learning. *ICML*, 2013.
- Hinton G., Vinyals O., Dean J. Distilling the Knowledge in a Neural Network. *NIPS Workshop*, 2015.
- Han S., Mao H., Dally W. Deep Compression: Compressing Deep Neural Networks with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding. *ICLR*, 2016.
- Raschka S., Liu Y., Mirjalili V. *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn*. Packt Publishing, 2022.
- Griva I., Nash S., Sofer A. *Linear and Nonlinear Optimization*. SIAM, 2009.
- Kluyver T. et al. Jupyter Notebooks – A Publishing Format for Reproducible Computational Workflows. 2016.
- Ousterhout J. *A Philosophy of Software Design*. Yaknyam Press, 2018.
- AsyncIO Documentation. Python Software Foundation.
- Ray Serve Documentation. Scalable and Distributed Python for ML Systems.
- OpenAI. API Documentation: Models, Tokens, Latency Optimization (технічна документація).
- Kleinberg J., Tardos E. *Algorithm Design*. Pearson, 2006.

РОЗРОБКА ІГРОВОГО ЗАСТОСУНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ІГРОВОМУ РУШІІ UNREAL ENGINE 4

Сергіх Ярослав Віталійович, магістр кафедри Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Serhikh.Ya.V@nmu.one¹

Соколова Наталя Олегівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, sokolova.n.o@nmu.one¹

¹ НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

У швидко зростаючій індустрії відеоігор акцент зсувається на підвищення якості та занурення гравця. Зростає складність інтерактивних середовищ, оновлення та реакція на дії користувача, через що широко застосовують штучний інтелект (ШІ). ШІ надає NPC природну поведінку, створює живий світ і знижує потребу в ручному скриптуванні, підвищуючи різноманітність гри. Проте збільшення масштабу світів викликає питання гнучких та достовірних систем ШІ.

Особливо актуально це для складних жанрів, таких як JRPG. Перехід від простих патрулів до динамічної поведінки з сенсорами (зор, слух) ускладнює логіку та середовища життєвого циклу NPC. Традиційні скрипти стають негнучкими, обмежуючи занурення. Тому впровадження сучасних систем ШІ вважають необхідним кроком для підвищення продуктивності команд розробників та стабільності ігрового процесу.

Дослідження проводилося шляхом аналізу ігрових застосунків жанру JRPG, що використовують штучний інтелект. На первинному етапі було визначено вузькі місця традиційних підходів, які впливали на загальну якість занурення. Після цього здійснювалося впровадження сучасних підходів на рушії Unreal Engine 4 та аналіз їх впливу на поведінку, а саме:

- оптимізація логіки ШІ з використанням Дерев Поведінки (Behavior Tree) та Blackboard;
- реалізація сенсорних систем (зір та слух) через AI Perception;
- оптимізація продуктивності гри на основі моделей, у яких логіка оновлюється через таймери, а не щодавно (Event Tick).

Оцінювання ефективності здійснювалося на основі візуального тестування в ігровому середовищі Unreal Engine з використанням вбудованих інструментів Print String та Draw Debug Sphere. Це дозволило виявити критичні ділянки (наприклад, збої у пошуку шляху), а також кількісно визначити вплив застосованих методів ШІ на загальну поведінку NPC.

Важливу роль у забезпеченні надійності та повторюваності процесів відіграє ігровий рушій Unreal Engine 4 [1]. Перш за все, використання Blueprints забезпечує стабільність середовища розробки (візуальне скриптування). Це так само дає змогу використовувати вбудовані системи, як AI Controller, що дозволяють:

- автоматизувати ухвалення рішень NPC (запуск Древа Поведінки);
- застосовувати різні стратегії поведінки (патрулювання, переслідування) на кшталт тих, що є в іграх серії Persona, які зменшують ризики під час "втрати" гравця;
- швидко повертатися до стабільного стану (наприклад, очистити Blackboard) у разі виявлення критичних проблем з новою поведінкою.

Вплив сенсорної системи ШІ на продуктивність застосунку визначається не лише фактом виявлення гравця, але і типом сенсора, що використовується. Сенсор зору (Sight) є більш ресурсоємним, але забезпечує активну логіку переслідування. Сенсор слуху (Hearing) є більш оптимізованим (реагує на окремі події, як-от кроки), але забезпечує менш точну логіку «дослідження». Таким чином, вибір сенсора повинен виконуватися з урахуванням ролі NPC та загального навантаження на систему. У розробленій грі, реалізація ШІ для ворогів дозволяє їм активно реагувати на присутність гравця, змінюючи свою поведінку від патрулювання до переслідування, як показано на рисунку 1.

Багатоетапна конфігурація Дерева Поведінки [2] дозволяє пришвидшити розробку ІШ за допомогою паралельного (окремого) налаштування завдань, що не пов'язані між собою (наприклад, гілка "Патрулювання" та гілка "Переслідування"). В той самий час вона дозволяє значно зменшити складність фінальної логіки, залишивши в кожній гілці лише необхідне для виконання конкретного стану. У грі це реалізовано таким чином, що кожен ворог має складну, але модульну поведінку, яка легко адаптується до різних ігрових ситуацій.



Рисунок 1 – Реагування ворога на гравця за допомогою AI Perception

Ключовим напрямом оптимізації продуктивності є використання Таймерів замість Event Tick. Завдяки цьому постійна перевірка (наприклад, взаємодії з об'єктами) не потребує повного оновлення щокадру, що суттєво зменшує час роботи CPU. Аналогічно цьому, використання LOD (Рівнів Деталізації) дозволяє відтворювати сцену значно швидше, навіть при великій кількості об'єктів. Результат показав, що це актуально лише для проєктів з великою кількістю 3D-моделей (дерев, оточення). Оскільки робота з Tick для кожного об'єкта потребує додаткового часу на обчислення, що може бути не продуктивним при його малій цінності (якщо об'єкт не потребує оновлення).

Іншим напрямом оптимізації є масштабування на стороні GPU. Рендеринг часто становить найбільш тривалий етап у циклі кадру; впровадження технологій NVIDIA DLSS [3] та AMD FSR [4] дає змогу суттєво скоротити загальний час рендерингу. У графічних налаштуваннях до цього додається можливість динамічного масштабування: якість рендерингу може автоматично збільшуватися або зменшуватися залежно від обраного режиму (Quality, Performance). Таким чином, час виконання кадру зменшується пропорційно до доступних обчислювальних ресурсів GPU.

Зростання складності ігор вимагає методів прискорення логіки та оптимізації продуктивності. В дослідженні проаналізовано основні аспекти застосування ІШ та оптимізації: Дерева Поведінки, AI Perception, Таймери та LOD. Впровадження сучасної ІШ підвищує реалізм та занурення, але ефективність залежить від масштабу проєкту. Оптимізації (Таймери, LOD) та графіка (DLSS, FSR) зменшують час обчислення та витрати CPU/GPU, підвищуючи стабільність кадрів. Для малих систем складні ІШ можуть бути не виправдані; прості патрулі без AI Perception зменшують складність підтримки Дерева Поведінки. Вибір методів має зважати на очікуваний ефект та вартості впровадження.

Список використаних джерел

1. Unreal Engine: The most powerful real-time 3D creation tool. [Електронний ресурс] URL: <https://www.unrealengine.com/en-US> (дата звернення: 24.04.2025).
2. Behavior Trees in Unreal Engine. [Електронний ресурс] URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/behaviortrees-in-unreal-engine> (дата звернення: 26.04.2025).
3. NVIDIA DLSS 4 Technology [Електронний ресурс] URL: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/technologies/dlss/> (дата звернення: 13.05.2025).

4. AMD FidelityFX Super Resolution [Електронний ресурс] URL:
<https://www.amd.com/en/products/graphics/technologies/fidelityfx.html> (дата звернення: 13.05.2025).

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: АНАЛІТИКА ДАНИХ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГЕНТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Сімкова Анастасія Сергіївна, здобувач фахової передвищої освіти відділення бізнес-комунікацій, права та туризму, anastasiia.simkova@kitu.nau.edu.ua¹

Гоменюк Віта Анатоліївна, викладач вищої кваліфікаційної категорії циклової комісії управління та адміністрування, vita.homeniuk@kitu.nau.edu.ua¹

¹ Фаховий коледж інженерії, управління та землевпорядкування Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут»»

Актуальність. У сучасних умовах глобалізації та швидкого розвитку інформаційних технологій цифрова трансформація освітнього процесу є одним із ключових напрямів модернізації суспільства. Освіта виступає основою формування людського капіталу, конкурентоспроможності нації та розвитку економіки знань. Широке застосування цифрових технологій та штучного інтелекту (ШІ) дає змогу адаптувати освітній процес до індивідуальних потреб здобувачів, розширити доступ до знань та підвищити ефективність управління навчальними закладами. Це зумовлює актуальність дослідження, спрямованого на вивчення можливостей і викликів цифрової трансформації в освіті.

Метою дослідження є визначення можливостей застосування штучного інтелекту в освітньому процесі, аналіз їх можливостей і переваг, а також виявлення перспектив подальшого розвитку освіти в умовах цифрових трансформацій.

Ключові слова: освіта, штучний інтелект, суспільство, цифровізація, deep learning, data mining, natural language processing.

Виклад основного матеріалу. Сучасний етап розвитку суспільства визначається процесами цифрової трансформації, що охоплюють усі сфери життєдіяльності, зокрема й освіту. Інформаційні та комунікаційні технології, включно із штучним інтелектом, являються значними каталізаторами змін у класичних моделях навчання, що створюють нові можливості для здобувачів, викладачів та закладів освіти. Перехід від традиційних методів організації освітнього процесу до інноваційних цифрових - це не лише вимога часу, а також необхідна умова формування конкурентоспроможного людського капіталу в умовах економіки знань.

Цифрова трансформація в освітній сфері розглядається як комплексний процес упровадження цифрових технологій у всі напрями діяльності навчальних закладів, що суттєво змінює педагогічні підходи, управлінські моделі та взаємодію між учасниками освітнього процесу. Вона характеризується переходом від аналогових до інтерактивних форм навчання, широким використанням хмарних сервісів, освітніх платформ та мобільних застосунків, а також створенням цифрових освітніх середовищ, які забезпечують більшу доступність [1].

У структурному вимірі цифрова трансформація охоплює такі напрями:

1. Педагогічний - перехід від репродуктивних до інтерактивних та дослідницьких методів навчання.

2. Технологічний - впровадження хмарних сервісів, освітніх платформ (Google Classroom, Moodle, Zoom, Microsoft Teams тощо), мобільних застосунків і засобів доповненої реальності, алгоритми взаємодії агентів та обробки освітніх даних (ChatGPT, Coursera AI-тренери, Duolingo AI), тощо.

3. Організаційно-управлінський - використання цифрових систем моніторингу, аналітики даних і дистанційного адміністрування.

4. Соціальний - формування нових форм взаємодії між студентами, викладачами та адміністрацією, заснованих на відкритості та партнерстві.

Важливим поштовхом до цифровізації стала пандемія COVID-19, яка актуалізувала потребу в масовому дистанційному навчанні та довела його роль як чинника стійкості освітніх систем. Вимушений перехід на дистанційне навчання виявив, що освітня система може зберігати ефективність навіть у кризових умовах, якщо має належну цифрову інфраструктуру. З того часу цифрові технології перестали сприйматися як додаток до навчання - вони стали органічною частиною освітнього процесу.

Штучний інтелект у сучасній освіті розглядається як ефективний інструмент удосконалення навчального процесу. Його потенціал полягає у створенні умов для адаптивного навчання з індивідуальними траєкторіями, автоматизації оцінювання знань і аналізу освітніх даних, а також у здатності розпізнавати потреби студентів у реальному часі. На практиці технології ШІ реалізуються у вигляді інтелектуальних тьюторських систем, які аналізують прогрес студентів і підлаштовують темп та складність матеріалу до їхнього рівня знань. Чат-боти та віртуальні асистенти допомагають студентам швидко отримувати відповіді на запитання, реєструватися на курси, складати розклад чи відстежувати успішність. Впровадження ШІ змінює не лише технічні аспекти навчання, а й роль викладача, оскільки він вже не є єдиним джерелом знань, а стає модератором навчального процесу, наставником і аналітиком, який використовує дані для прийняття педагогічних рішень. Така модель сприяє підвищенню ефективності освіти, дозволяючи зосередити увагу на творчості, дослідженнях і розвитку критичного мислення у студентів. [3].

Інструменти та технології штучного інтелекту в освітніх системах значно прискорюють процес взаємодії між учасниками освітнього процесу та покращують якість і результативність такої взаємодії.

Natural Language Processing (NLP) дозволяє освітнім системам "спілкуватися" та розуміти мову студентів, роблячи навчання більш інтерактивним. Це реалізується завдяки чат-ботам-репетиторам та помічникам: студенти отримують миттєві відповіді на поширені запитання або допомогу з домашніми завданнями 24/7.

Крім оцінювання, NLP може надавати детальний зворотний зв'язок щодо граматики, синтаксису, зв'язності та стилю тексту, допомагаючи студентам розвивати навички письма. NLP також дозволяє автоматично створювати тестові запитання, резюме навчальних матеріалів або переклади для багатомовних класів. [5]

Deep Learning (DL) використовується у розпізнаванні патернів поведінки студентів та прогнозуванні успішності.

Оцінювання відкритих відповідей: DL-моделі можуть краще оцінювати есе та відкриті відповіді, ніж простіші NLP-алгоритми, завдяки глибшому розумінню контексту та стилю.

Аналіз залученості: DL-моделі дають можливість здійснювати аналіз міміки та голосових патернів студента під час онлайн-уроку для визначення рівня зацікавленості, розгубленості чи втоми, допомагаючи викладачеві адаптувати подачу матеріалу в реальному часі.

Інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) та аналіз настроїв (Sentiment Analysis). Ці методи використовуються для аналізу освітніх даних і зворотного зв'язку студентів, зокрема:

Прогнозування успішності та ризиків: Аналіз історичних даних (оцінки, відвідування, час, витрачений на завдання) для прогнозування того, які студенти схильні до низької успішності або відсіву. Це дозволяє викладачам вчасно втрутитися.

Створення профілів учнів: Виявлення прихованих закономірностей у даних (наприклад, що студенти, які використовують певні ресурси, досягають кращих результатів). Це допомагає створювати більш точні профілі навчання задля кращої адаптації в освітньому процесі, профорієнтації та побудови індивідуальної освітньої траєкторії. [6]

Expert Systems (експертні системи) є більш старою технологією ШІ, але вони ефективні там, де знання можна чітко закодувати у вигляді правил (системи "Якщо... То..."). До них відносять:

Створення адаптивних тестів: Система використовує заздалегідь визначені правила ("Якщо студент відповів правильно на 3 запитання поспіль, то підвищити рівень складності наступного запитання"), щоб динамічно змінювати тест відповідно до рівня знань студента.

Індивідуальні навчальні маршрути: Система може містити базу знань, отриману від найкращих педагогів, і на основі вхідних даних про успішність студента рекомендувати точну послідовність тем для вивчення, корекційні матеріали чи додаткові вправи.

Діагностика навчальних труднощів: Система може провести діагностику, щоб визначити, де саме учень/студент робить помилки (наприклад, плутає час дієслів чи неправильно застосовує теорему Піфагора), та пояснити причину цієї помилки. [7]

Основні переваги цифрової трансформації полягають у:

- індивідуалізації навчання, оскільки завдяки алгоритмам адаптивного навчання студенти отримують контент, який відповідає їхнім темпам, стилю мислення та рівню підготовки;
- інтерактивності та залученості, що забезпечується використанням мультимедійних ресурсів, симуляцій, ігрових технік (гейміфікації) підвищує мотивацію до навчання;
- доступності та інклюзивності, адже цифрові освітні платформи дозволяють навчатись людям з обмеженими можливостями, а також тим, хто проживає у віддалених регіонах;
- ефективному управлінні через аналітику освітніх даних, що дає змогу адміністрації навчальних закладів приймати обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів, удосконалення програм та оцінки якості навчання.

Крім того, цифрова трансформація формує нову культуру навчання, у якій студенти стають активними учасниками, а не пасивними споживачами знань, що розвивають навички самонавчання, відповідальності, співпраці й цифрової грамотності тобто компетентності, що є визначальними для сучасного ринку праці [4].

Попри очевидні переваги, цифрова трансформація має низку викликів. Одним із найгостріших є цифрова нерівність - розрив у доступі до сучасних технологій між різними соціальними групами та регіонами, що, в свою чергу, може посилити соціальну несправедливість і обмежити можливості для рівного доступу до освіти. Іншим важливим аспектом є етичні та правові ризики. Використання ШІ пов'язане з обробкою великих обсягів персональних даних, що створює небезпеку порушення приватності. Також існують загрози алгоритмічної упередженості, коли системи приймають рішення на основі неповних або викривлених даних. Не менш суттєвою проблемою є підготовка викладачів, оскільки багато з них не мають достатнього рівня цифрової компетентності, що ускладнює ефективне використання нових технологій у навчальному процесі. Крім того, надмірна технологізація може призвести до зниження рівня живого спілкування між викладачем і студентом, що є важливим чинником формування соціальних і комунікативних навичок [2].

Подальший розвиток цифрової освіти пов'язаний із інтеграцією віртуальної та доповненої реальності (VR – Virtual Reality, AR – Augmented Reality, MR – Mixed Reality та AI + Robotics), які створюють ефект повного занурення в навчальне середовище, що відкриває нові можливості для практичного засвоєння знань у галузях медицини, інженерії, мистецтва, науки. Вагомим значення набуває також мікронавчання - формат коротких навчальних модулів, орієнтованих на швидке здобуття конкретних навичок, та гейміфікація, яка підсилює мотивацію студентів через ігрові елементи. Потрібно також враховувати необхідність підготовки викладачів до роботи з AI-технологіями та нових викликів, які на них очікують.

Отже, цифрова освіта сприятиме розвитку освіти протягом життя (lifelong learning), яка стає ключовим принципом сучасного суспільства; партнерство між університетами, бізнесом і технологічними компаніями створює умови для формування інноваційної освітньої екосистеми, здатної своєчасно реагувати на потреби ринку праці та виклики часу.

Висновки. Цифрова трансформація та застосування штучного інтелекту виступають визначальними чинниками модернізації освіти, що забезпечує доступність, гнучкість і якість навчання, відкриває нові можливості для персоналізації освітнього процесу, формування компетенцій майбутнього та розвитку критичного мислення. Штучний інтелект сприяє

індивідуалізації навчання, підвищенню ефективності викладання й управління освітніми процесами, водночас важливо забезпечити етичне використання технологій, захист даних і дотримання принципів академічної доброчесності. Роль викладача змінюється, адже він стає наставником і координатором навчання, а цифрова грамотність стає невід'ємною складовою його професійної компетентності. Головними викликами залишаються цифрова нерівність, потреба в оновленні освітніх програм і розвиток інфраструктури. Їх подолання потребує узгоджених дій держави, закладів освіти та бізнесу. Отже, успішна цифрова трансформація освіти можлива лише за умови гармонійного поєднання технологічних інновацій із гуманістичними цінностями, орієнтацією на людину та безперервне навчання впродовж життя.

Список використаних джерел

1. Куцак Л. В. Штучний інтелект у сучасній освіті : перспективи застосування та виклики // Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems. - 2025. - №74. - С. 27-37.
2. Поляков М. В. Штучний інтелект у сучасній освіті : виклики, можливості та перспективи педагогічного розвитку // Проблеми інженерно-педагогічної освіти. - 2023. - №81. - С. 30-37.
3. Теслюк В. Перспективи застосування штучного інтелекту в освітньому процесі: теоретичний аспект // Молодь і ринок. - 2024. - №6/226. - С. 183-188.
4. Шарова, Т. М., Ломейко, О. П., Шаров, С. В. Штучний інтелект в освіті : свідомий вибір // Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти: збірник науково-методичних праць. - 2024. - С. 390-401.
5. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education (US), 2021. 1232 p.
6. Handbook of Educational Data Mining / ed. by C. Romero et al. CRC Press, 2010. URL: <https://doi.org/10.1201/b10274> (date of access: 27.10.2025).
7. Yu S., Lu Y. An Introduction to Artificial Intelligence in Education. Singapore: Springer Singapore, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-2770-5> (date of access: 27.10.2025).

ПРОЄКТУВАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ БУДІВЛІ

Солдатов Данило Вікторович, студент групи МА-24-М,
soldatov_d_v@students.pstu.edu¹

Черевко Олена Олександрівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри
автоматизації і комп'ютерних технологій, cherevkoea89@gmail.com¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Підвищення енергоефективності в житлово-комунальному секторі є однією з найбільш актуальних інженерних задач сучасності. Ключовим елементом у споживанні енергії є системи опалення будівель, що реалізуються на базі індивідуальних теплових пунктів (ІТП). Управління тепловим режимом великих об'єктів, таких як багатоповерхові адміністративні корпуси, є складною задачею через специфічні характеристики самого об'єкта управління (ОУ). Будівля являє собою складну, нелінійну термодинамічну систему, що характеризується, перш за все, величезною тепловою інерційністю. Постійна часу (τ) для 5-поверхового корпусу, що розглядається, може сягати 15-20 годин (54000-72000 секунд).

Використання класичних лінійних ПД-регуляторів для керування такими «повільними» об'єктами є неефективним. Велика інерційність призводить до того, що інтегральна складова (І) накопичує значну похибку за час реакції об'єкта, що неминуче спричиняє глибоке перерегулювання (перегрів приміщень). Подальший коливальний процес стабілізації може тривати годинами, що призводить до дискомфорту та значних невинуватених перевитрат теплоносія [1]. Диференціальна складова (D) на таких повільних процесах стає майже нечутливою. Це створює нагальну потребу в розробці більш гнучких, інтелектуальних систем керування.

Перспективним рішенням є впровадження систем на базі теорії нечіткої логіки [2]. Нечіткий регулятор дозволяє формалізувати евристичні (експертні) знання та нечіткі алгоритми оператора котельні у вигляді чіткої математичної моделі (бази правил). Такий підхід ідеально підходить для керування нелінійними та інерційними об'єктами, оскільки дозволяє одночасно аналізувати поточний стан (похибку) і динаміку (тренд) процесу, забезпечуючи гнучке та адаптивне керування.

Для проведення досліджень була розроблена імітаційна модель замкненого контуру керування в середовищі MATLAB/Simulink. Об'єкт управління (5-поверховий корпус) був апроксимований аперіодичною ланкою першого порядку. На основі розрахунків теплового балансу та фізичних характеристик будівлі були визначені коефіцієнти передавальної функції об'єкта:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{0.3}{54000s + 1} \quad (1)$$

де K – коефіцієнт посилення об'єкта; τ – постійна часу об'єкта. Для прискорення процесу симуляції та зручності налаштування регулятора було застосовано масштабування часу з коефіцієнтом 100. Таким чином, у моделі Simulink (рис. 1) використовувалася передавальна функція $G(s)$ з $\tau = 540$, а загальний час симуляції був встановлений на 3000 секунд.

Як видно зі схеми (рис.1), модель є замкненим контуром. Сигнал похибки (E) та його похідна (ΔE), обчислена стандартним блоком Derivative, об'єднуються мультиплексором (Mux) і подаються на блок FuzzyLogicController. Вихід регулятора (U) разом зі збуренням (константа T) подається на модель об'єкта (Building).

Проектування нечіткого регулятора виконувалось у FuzzyLogicToolbox (команда fuzzy) на основі алгоритму Мамдані з методом дефазифікації «центр ваги» (Centroid). Була обрана розширена асиметрична конфігурація 7/5/5 (Похибка E / Швидкість ΔE / Вихід U).

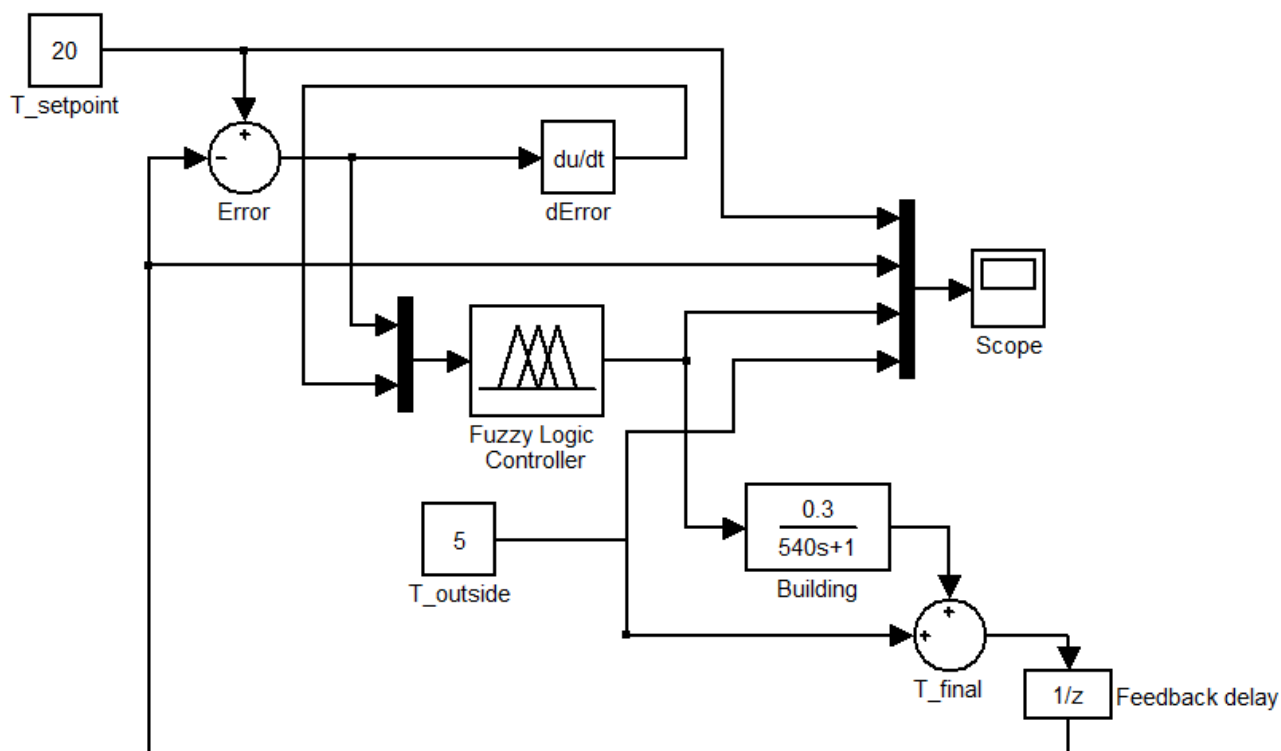


Рисунок 1 – Вікно Simulink з імітаційною моделлю системи «Об'єкт-Регулятор»

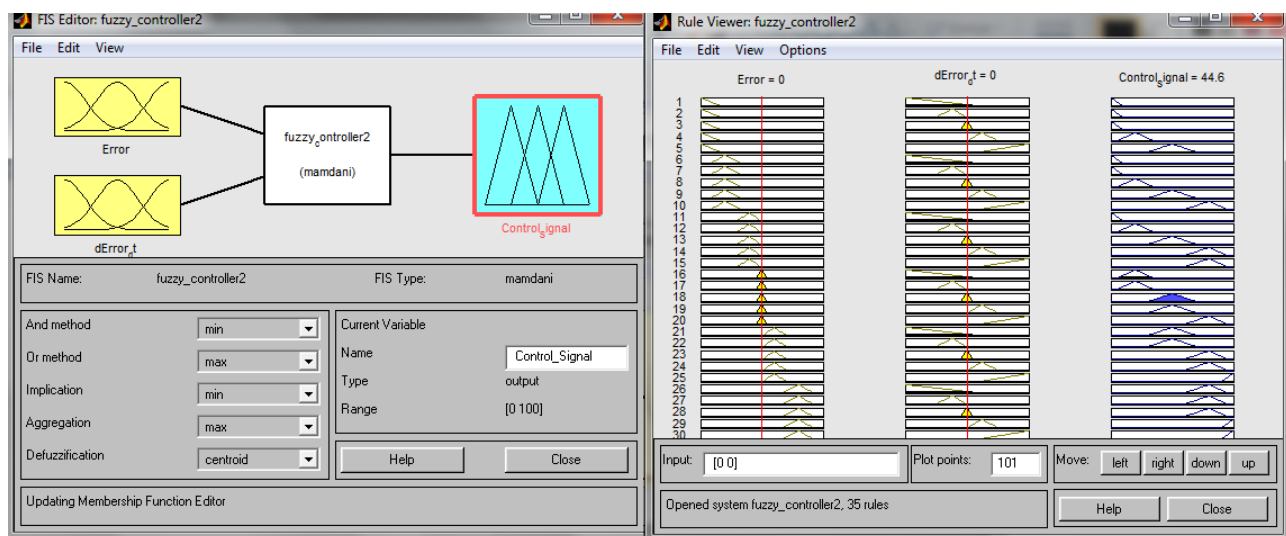


Рисунок 2 – Вікно Fuzzy Logic Toolbox із налаштованим нечітким регулятором

Вхід 1: Error. Використано 7 термів (NB - Велика Негативна, NM - Середня Негативна, NS - Мала Негативна, Z - Нуль, PS - Мала Позитивна, PM - Середня Позитивна, PB - Велика Позитивна). Діапазон змінної: [-30 30]. Використання 7 термів забезпечує високу гранульованість та чутливість регулятора до найменших статичних відхилень від уставки, що є критичним для зони комфорту.

Вхід 2: dError. Використано 5 термів (NB, NS, Z, PS, PB). Діапазон змінної: [-5 5]. 5 термів дозволяють точно оцінити динаміку (тренд) процесу, розрізняючи «повільне падіння» (NS) від «швидкого падіння» (NB). Це дає змогу регулятору діяти на випередження та ефективно демпфувати коливання в інерційному об'єкті.

Вихід: Control_Signal. Використано 5 термів (Z, S, M, L, F). Діапазон змінної: [0 100]. 5 термів на виході є достатньою градацією для керуючого впливу, а метод дефазифікації «центр ваги» забезпечує необхідну плавність сигналу.

На основі конфігурації 7 x 5 було сформовано базу з 35 правил «ЯКЩО-ТО» (табл. 1), яка реалізує логіку випереджувального керування.

Таблиця 1 – Матриця рішень, що реалізує логіку керування

E ↓ / dE →	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	Z	Z	S	M
NM	Z	Z	S	M	L
NS	Z	S	M	L	L
Z	S	S	M	M	L
PS	M	M	L	L	D
PM	L	L	L	F	F
PB	L	F	F	F	F

Для верифікації регулятора було проведено імітаційний експеримент в Simulink. Були задані наступні початкові умови: задана температура (уставка): 22 °C, початкова температура в

приміщенні: 5 °C (імітація «холодного пуску»), температура зовнішнього повітря: 5 °C. Результати перехідного процесу представлені на рисунку 3.

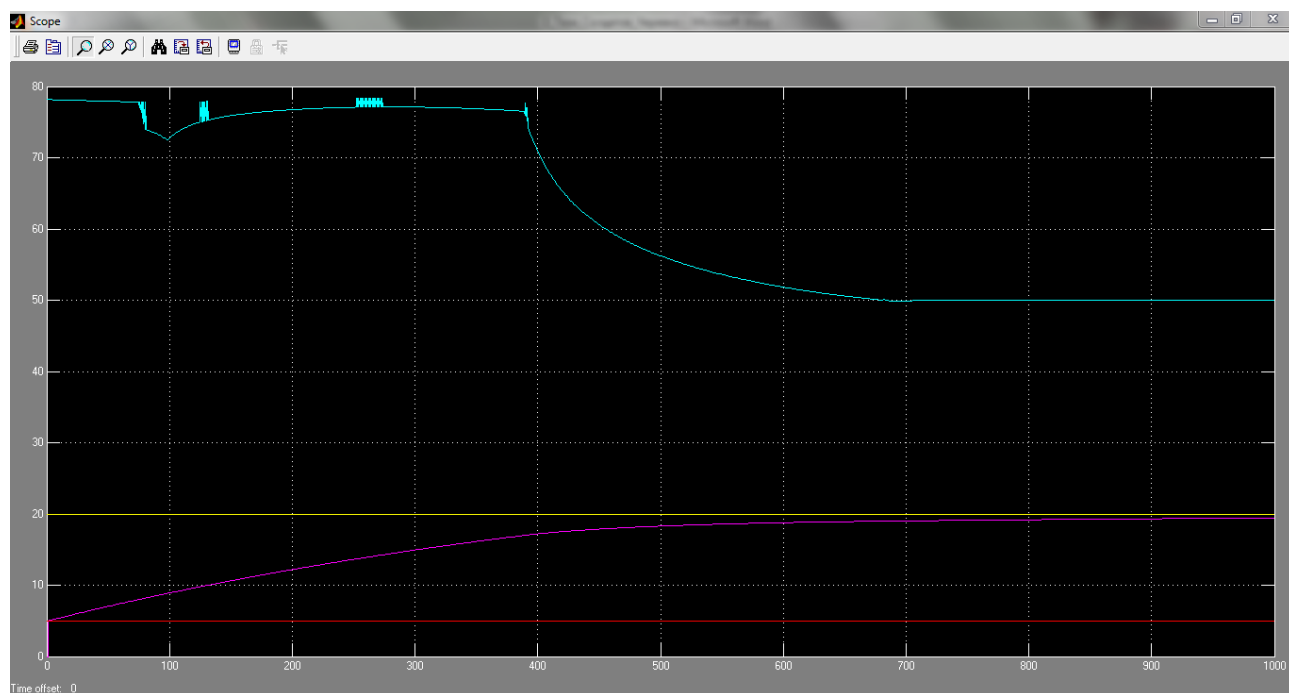


Рисунок 3 – Вікно Scope з результатами моделювання перехідного процесу системи з нечітким регулятором

Аналіз графіків (рис. 3) дозволяє зробити наступні висновки. Жовта лінія – це уставка. Фіолетова ламана – фактична температура. Блакитна ламана – керуючий сигнал регулятора. Червона лінія – температура зовні/початкова.

На старті похибка E є максимальна, швидкість зміни ΔE є нульова, тому регулятор миттєво видає ~78 % потужності. Фактична температура починає плавно зростати, що відповідає високій інерційності об'єкта. Ключовий момент спостерігається в середині процесу: регулятор починає завчасно знижувати потужність до того, як фактична температура досягла уставки. Це є прямим результатом роботи диференціальної складової ΔE , яка фіксує високу швидкість наближення до уставки. Завдяки цьому, система виходить на заданий рівень 22 °C плавно, повністю уникаючи перерегулювання (спостерігається аперіодичний перехідний процес). В усталеному режимі регулятор стабілізує потужність на рівні, необхідному для точної компенсації розрахункових тепловтрат.

Таким чином, розроблена конфігурація нечіткого регулятора довела свою повну працездатність та ефективність при керуванні інерційним тепловим об'єктом. Імітаційне моделювання показало, що запропонований підхід дозволяє забезпечити високу якість перехідного процесу (швидкий вихід на уставку без перерегулювання) та плавність керуючого сигналу, що неможливо досягти при використанні класичних ПІД-регуляторів на об'єктах з такою великою постійною часу.

Список використаних джерел

1. Astrom K. J. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers / K. J. Astrom, R. M. Murray. – Princeton University Press, 2008. – 408 p.
2. Leondes C. T. Fuzzy logic and control: software and hardware applications. / C. T. Leondes. – Academic press, 1998. – 481 p.

КОМБІНОВАНІ МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ GPS-SPOOFING-АТАК НА ОСНОВІ ФІЗИЧНИХ І ПОВЕДІНКОВИХ ОЗНАК СИГНАЛУ

Тахтай Назарій Володимирович, студент гр. КН-42,
nazarii.takhtai@student.sumdu.edu.ua¹

Левадний Яків Валентинович, студент гр. КН-42,
iakiv.levadnyi@student.sumdu.edu.ua¹

П'ятаченко Владислав Юрійович, PhD., асистент кафедри комп'ютерних наук,
vl.piatachenko@cs.sumdu.edu.ua¹

¹ Сумський державний університет, м.Суми

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) дедалі ширше використовуються у цивільних, промислових та військових цілях. Вони застосовуються для моніторингу територій, доставки вантажів, виконання рятувальних операцій, а насамперед у військових місіях. Проте з розширенням сфери використання виникає зростаюча потреба у забезпеченні надійного захисту від кібератак. Однією з найнебезпечніших загроз є атака підміни координат, коли злоумисник змінює або фальсифікує сигнали навігації, змушуючи БПЛА отримувати хибні дані про власне місцезнаходження. Це може призвести до критичних наслідків: втрати керування, відхилення від маршруту, потрапляння у заборонену зону чи навіть повного виходу апарата з ладу.

Світові навігаційні супутникові системи GNSS, такі як GPS, Glonass, Galileo, забезпечують визначення координат, швидкості руху та точного часу. Вони є основою сучасної навігації транспортних систем, безпілотних літаючих апаратів, фінансових мереж та телекомунікацій. Відкритість цивільних сигналів робить GNSS дуже вразливим до різних видів кібератак, включаючи підміну координат (спуфінг) [1]. Цей тип атаки полягає в тому, що злоумисники передають фальшиві супутникові сигнали, що змушує приймач приймати помилкові дані про своє місце перебування та час. У результаті навігаційна система може вважати, що знаходиться в іншому місці, що, у свою чергу, призводить до серйозних наслідків – від порушення логістики до аварій транспортних засобів.

Традиційні методи захисту, засновані на криптографії та протоколах автентифікації, мають низку обмежень. По-перше, ресурси обчислення й енергоспоживання БПЛА є обмеженими, що ускладнює використання складних криптографічних механізмів. По-друге, у майбутньому можлива поява квантових обчислень, які зможуть зламати існуючі алгоритми шифрування. Тому актуальним стає підхід, що ґрунтується не на математичних методах захисту, а на перевірці достовірності сигналу на фізичному рівні [2].

Серед перспективних рішень є аналіз фізичних характеристик сигналу: рівня потужності прийнятого сигналу (RSSI) та кута приходу сигналу (AoA) у тривимірному просторі [2]. Ці параметри складно підробити, оскільки вони визначаються реальними умовами поширення хвиль у просторі. Наприклад, навіть якщо злоумисник здатний відтворити очікуваний рівень RSSI, імітувати правильний азимут та кут підйому сигналу практично неможливо без фізичного відтворення відповідної геометрії.

Одним із напрямів виявлення підміни координат є аналіз отриманих даних із різних джерел. Наприклад, система може порівнювати координати з інформацією з інерціальних сенсорів, локальних годинників або мережесерверів часу [1]. Якщо між ними виявляється значна різниця, система може зробити висновок про можливу атаку. Інший напрям полягає у використанні методів штучного інтелекту, які навчаються розпізнавати закономірності нормальної роботи системи. Зокрема, дослідники пропонують застосовувати нейронні мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory), що добре працюють із послідовними даними [1]. Такі мережі аналізують історію руху об'єкта – швидкість, прискорення, кут повороту керма, зміни координат – і прогнозують його наступне положення. Якщо реальні дані, отримані від супутника, суттєво відрізняються від прогнозованих, система фіксує аномалію, яка може свідчити про спуфінг.

Щоб виявити підміну координат, дослідники пропонують не лише аналізувати сигнал супутника, а й перевіряти, чи узгоджується отримане положення з рухом самого об'єкта. Для цього використовують дані з інших сенсорів – таких як IMU (інерційні вимірювачі), CAN (дані з автомобільної шини), датчики швидкості, напрямку, керма та багато іншого [1]. Якщо система прогнозує, де об'єкт мав би бути за цей короткий проміжок часу, і раптом GNSS показує координати, що виходять за межі допустимої похибки, то це може свідчити про спробу спуфінгу або підміни даних.

Досліджуючи природу атак підміни координат було проведено аналіз сигналів з відкритого набору даних GNSS Dataset (with Interference and Spoofing), Part III [3], який містить спостереження супутникових сигналів у трьох режимах: нормальному, під впливом глушіння та підміни координат.

Отримані часові ряди параметрів C/N_0 , доплерівського зсуву та псевдовідстані демонструють характерні зміни, що відповідають фазам атаки.

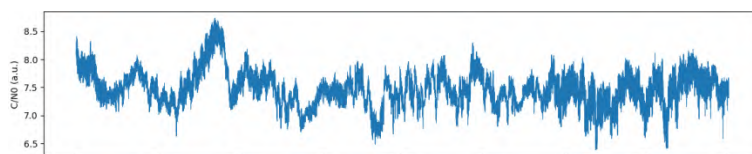


Рисунок 1 – Графік співвідношення сигнал/шум за часом

На рис. 1 наведено середні значення співвідношення сигнал/шум (C/N_0) для всіх супутникових каналів протягом доби. У нормальному режимі показники коливаються в межах 7–8,5 дБ-Гц, що відповідає стабільній роботі приймача. Проте на окремих відрізках спостерігається короткочасне падіння рівня C/N_0 нижче 6,5 дБ-Гц, що може вказувати на появу перешкод або втручання.

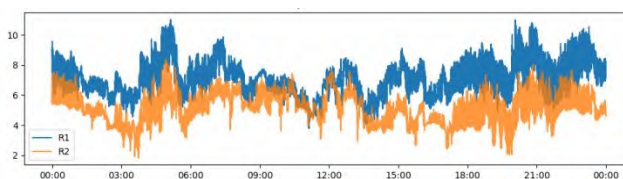


Рисунок 2 – Графік співвідношення сигнал/шум для паралельних каналів

Рис. 2 ілюструє порівняння двох приймальних каналів (R1 і R2). Видно, що під час атак рівень сигналу в каналі R2 суттєво знижується, а амплітудні коливання стають більш хаотичними. Така різниця між каналами є типовим проявом асиметрії прийому при спуфінгу або глушінні, коли атакуючий сигнал не потрапляє рівномірно на всі антени або частоти.

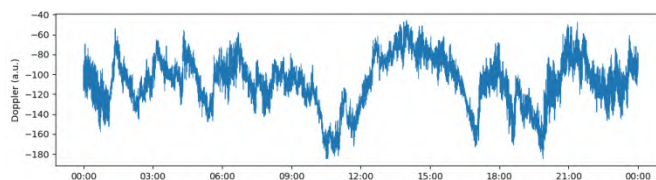


Рисунок 3 – Графік зміни частоти сигналу через рух джерела

Аналіз доплерівського зсуву (рис. 3) показав, що у періоди втручання відбуваються різкі нелінійні стрибки у значеннях, зокрема від -60 до -180 Гц. Такі різкі зміни можуть бути пов'язані з тим, що штучні сигнали, згенеровані пристроєм HackRF One, не відтворюють природну динаміку відносного руху супутників і приймача. Це створює «аномальні» траєкторії, які можуть бути легко виявлені алгоритмами LSTM або автоенкодерами, навченими на стабільних часових рядах.

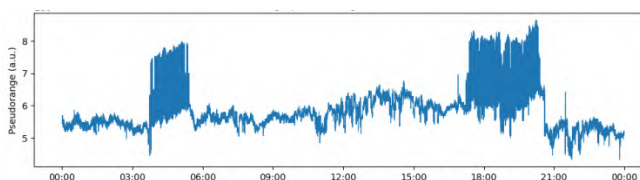


Рисунок 4 – Графік зміни обчисленої приймачем відстані до супутника

На рис. 4 показано середні значення псевдовідстані. У нормальному стані спостерігається плавна зміна параметра на рівні близько 5×10^6 м, однак під час атак відбуваються різкі стрибки до 8×10^6 м і назад. Це свідчить про невідповідність між фактичним і прогнозованим положенням супутників – типовий індикатор спуфінгу.

Отримані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями [1–2], де для підвищення точності виявлення атак застосовуються глибинні нейронні мережі, здатні навчатися на прикладах легітимних сигналів. Автоенкодер формує модель «нормальної поведінки» системи, а відхилення сигналу від цього шаблону спричиняє різке зростання помилки реконструкції, що розпізнається як ознака можливої атаки. Натомість мережа LSTM аналізує часову послідовність координат та параметрів руху, прогножуючи очікуване положення об'єкта; якщо фактичні дані GNSS виходять за межі допустимого порогу, система сигналізує про підміну.

Такі підходи демонструють високу ефективність і швидкодію: обробка даних займає лише кілька мілісекунд, що робить їх придатними для застосування на борту безпілотних систем у режимі реального часу. Разом із тим вони мають низку обмежень – зокрема, залежать від точності допоміжних сенсорів та достовірності початкових GNSS-вимірювань. Крім того, система лише виявляє атаку, але не усуває її наслідки, тому доцільно поєднувати такі рішення з аналізом сили сигналу, міжсупутникових кореляцій або криптографічним захистом навігаційних повідомлень.

Попри це, гібридні моделі, що поєднують аналіз фізичних характеристик (RSSI, AoA, C/No, доплерівський зсув) із методами глибинного навчання, залишаються перспективним напрямом розвитку систем кіберзахисту GNSS. Їхні переваги полягають у невисоких вимогах до обчислювальних ресурсів, відсутності потреби у складних протоколах обміну ключами та підвищеній стійкості до підробки завдяки використанню комбінованих параметрів. Подальші дослідження спрямовані на підвищення чутливості таких систем та локалізацію атакуючих вузлів шляхом аналізу накопичених аномалій, що створює передумови для активної протидії загрозам у майбутніх навігаційних технологіях.

Список використаних джерел

1. S. Dasgupta, M. Rahman, M. Islam, and M. Chowdhury, "Prediction-Based GNSS Spoofing Attack Detection for Autonomous Vehicles," Transportation Research Board, Oct. 2020, doi: 10.48550/arXiv.2010.11722
2. A. Aladi and E. Alsusa, "UAV Attack Detection and Mitigation Using a Localization Verification-Based Autoencoder," IEEE Access, vol. 11, pp. 117752–117764, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3324980.
3. Wang, Xiaoyan; Yang, Jingjing; Huang, Ming; Peng, Zixiao (2024), "GNSS Dataset (with Interference and Spoofing) Part III", Mendeley Data, V3, doi: 10.17632/nxk9r22wd6.3

АРХІТЕКТУРА ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ (LLM) ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Юрчук Наталія Петрівна, доцент, канд. екон. наук,
доцент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем,
urnata@vntu.edu.ua¹

Кириченко Катерина Дмитрівна, здобувач,
група ICT-246, kk9955458@gmail.com¹

¹ Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Сучасний етап розвитку штучного інтелекту (ШІ) характеризується інтенсивним упровадженням великих мовних моделей (Large Language Models – LLM), що демонструють високу ефективність у задачах генерації, класифікації та інтерпретації природної мови. В умовах переходу до парадигми Industry 5.0, великі мовні моделі виступають провідним елементом синергії між людиною та штучним інтелектом. Застосування LLM виходить за межі текстової аналітики та охоплює галузі економіки, виробництва й управління. Впровадження мовних моделей у технологічні процеси створює новий рівень інтелектуальної підтримки прийняття рішень у складних технічних системах, зокрема в нафтогазовидобувній галузі [1].

Архітектура великих мовних моделей базується на принципах трансформерної моделі, запропонованої дослідниками Google у 2017 році [2], що визначила новий етап розвитку систем обробки природної мови. Трансформерна архітектура стала важливим технологічним проривом у сфері обробки природної мови (NLP), адже вона відмовилася від послідовного підходу до аналізу тексту, притаманного рекурентним нейронним мережам (RNN), та натомість використала механізм самоуваги (Self-Attention). Механізм самоуваги дозволяє моделі визначати вагу кожного елемента послідовності щодо інших, тобто враховувати контекст у межах усього тексту, а не лише локально, що забезпечує паралелізацію навчання.

Основними структурними компонентами трансформера є енкодер (encoder) і декодер (decoder), хоча сучасні LLM часто використовують спрощені архітектури:

- моделі тільки-енкодера (Encoder-only, наприклад, BERT) використовуються для розуміння тексту, класифікації та аналізу настрою;
- моделі тільки-декодера (Decoder-only, наприклад, GPT) орієнтовані переважно на генеративні завдання, оскільки вся їх структура оптимізована для послідовного передбачення наступних токенів на основі контексту;
- повний Трансформер (Encoder-Decoder, наприклад, T5) використовується переважно для завдань, де потрібне як розуміння, так і генерація (наприклад, машинний переклад).

Кожен компонент складається з кількох шарів, що включають такі елементи:

1. Багатоголовна увага (Multi-head attention) дозволяє моделі одночасно аналізувати інформацію з різних контекстних «кутів зору», підвищуючи точність і гнучкість інтерпретації.
2. Нормалізація шарів (Layer Normalization) стабілізує процес навчання. Варто зазначити, що хоча оригінальний Трансформер використовував Post-Layer Normalization, сучасні глибокі LLM часто застосовують Pre-Layer Normalization для кращої стабілізації градієнтів.

3. Залишкові з'єднання (Residual Connections) полегшують проходження градієнтів через глибокі шари нейронної мережі, що підвищує стійкість моделі.

Завдяки цим механізмам великі мовні моделі здатні масштабуватися до мільярдів параметрів, забезпечуючи високу точність у завданнях генерації тексту, перекладу, класифікації та аналізу змісту. Масштабування моделей до мільярдів і трильйонів параметрів (наприклад, GPT-4 $\approx$ 1,8 трлн) демонструє безпрецедентний рівень обчислювальної складності, що безпосередньо корелює з точністю та глибиною контекстного аналізу.

Процес підготовки LLM до практичного використання передбачає двоетапне навчання:

- Попереднє навчання (Pre-training) здійснюється на надвеликих корпусах

неструктурованих текстових даних (петабайти тексту) із метою формування загального розуміння мовних закономірностей, граматики, семантики та контексту.

– Тонке донавчання (Fine-tuning) відбувається на менших, але спеціалізованих наборах даних, що відповідають певній предметній області або конкретним бізнес-завданням (наприклад, юридичним документам чи технічним описам).

У сучасних дослідженнях особливу увагу приділяють підвищенню ефективності процесу донавчання за допомогою методів LoRA (Low-Rank Adaptation), PEFT (Parameter-Efficient Fine-Tuning) і RLHF (Reinforcement Learning from Human Feedback), що дають змогу суттєво зменшити обчислювальні витрати без втрати якості моделі.

Rustamova S., Rustamov F. у [3], зазначають, що ефективна інтеграція таких моделей у промислові системи управління потребує адаптації архітектури LLM до роботи з гетерогенними потоками даних, що передбачає поєднання текстових, числових і сенсорних сигналів, які надходять у режимі реального часу. Для цього використовуються мультимодальні підходи, що дозволяють обробляти дані різної природи в межах єдиного нейронного простору.

Важливою тенденцією сучасних досліджень є поява інструкційно-орієнтованих моделей (instruction-tuned models), які вдосконалюють здатність системи реагувати на запити користувачів, що формулюються у природній мові. Такі моделі не лише генерують текст, а й можуть виконувати аналітичні операції, формувати бізнес-звіти чи здійснювати попередню обробку інформації.

Таким чином, архітектура великих мовних моделей є багаторівневою, гнучкою системою, здатною адаптуватися до специфіки різних галузей – від інформаційних сервісів до виробничого управління. Її ефективність визначається поєднанням потужної трансформерної структури, масштабованих методів навчання та можливості інтеграції з іншими інформаційними технологіями.

Великі мовні моделі (LLM) поступово стають важливим елементом цифрової трансформації підприємств, забезпечуючи новий рівень автоматизації бізнес-процесів. Їх здатність до контекстного аналізу, генерації тексту та інтерпретації даних у природній мові відкриває широкі можливості для підвищення ефективності управління, зменшення операційних витрат і підсилення аналітичних функцій у корпоративних інформаційних системах.

Одним із найважливіших напрямів застосування LLM є інтелектуальна підтримка прийняття управлінських рішень. Як відзначають Дмитренко С., Кіршак Х. [1], впровадження мовних моделей у системи технологічного управління дає змогу створювати гібридні інтелектуальні середовища, у яких алгоритми ШІ виступають не лише аналітичним інструментом, а й активним елементом процесу ухвалення рішень.

У сфері управління персоналом застосування LLM демонструє значний потенціал в оптимізації процесів електронного рекрутингу. За результатами дослідження Доскач Д., Хавалко В. [4] інтеграція мовних моделей у системи підбору кадрів дозволяє автоматизувати аналіз резюме, узгодження компетенцій кандидатів із вимогами вакансій, а також створювати персоналізовані описи посад. Завдяки цьому процес найму стає швидшим, об'єктивнішим і менш залежним від суб'єктивних чинників людської оцінки.

Окрім HR-напрямку, великі мовні моделі активно використовуються у фінансовому менеджменті, логістиці, маркетингу та клієнтській підтримці. В аналітичних підсистемах вони забезпечують побудову прогнозів на основі історичних даних, генерують фінансові звіти або навіть моделюють можливі сценарії розвитку підприємства. У логістиці LLM здатні інтегруватися з корпоративними ERP-системами, обробляючи текстові запити у природній мові – наприклад, для автоматичного створення заявок на транспортування або контролю запасів. У сфері маркетингової аналітики LLM застосовуються для автоматичного створення контенту, аналізу споживацьких відгуків, моніторингу бренду та персоналізованої комунікації з клієнтами. Завдяки можливостям контекстного узагальнення, моделі можуть виокремлювати ключові тенденції у поведінці користувачів, що підсилює ефективність маркетингових стратегій і підвищує рівень задоволеності клієнтів.

Інтеграція LLM у бізнес-процеси сприяє формуванню адаптивних корпоративних екосистем, де інформаційні потоки обробляються в реальному часі, а результати аналізу безпосередньо впливають на управлінські рішення. Поєднання LLM із промисловими системами управління потребує розробки спеціалізованих інтерфейсів і протоколів обміну даними, що забезпечують узгодженість між текстовими та сенсорними форматами інформації, що дає змогу розширити можливості автоматизованих систем моніторингу, зробивши їх більш гнучкими та «розумними» у прийнятті рішень [3].

Важливою перевагою LLM є їхня здатність до безперервного навчання та адаптації. За умови правильної організації зворотного зв'язку модель може оновлювати свої знання відповідно до змін у бізнес-середовищі – нових ринкових тенденцій, змін законодавства чи оновлення корпоративної стратегії, що створює передумови для побудови самонавчальних інформаційних систем, у яких ШІ не лише виконує задані функції, а й постійно вдосконалює власні алгоритми для підвищення ефективності роботи підприємства.

Таким чином, великі мовні моделі виступають універсальним інструментом цифрової автоматизації, що поєднує інтелектуальний аналіз даних, природно-мовну взаємодію та високий рівень інтеграції з корпоративними платформами. Їх використання у бізнес-середовищі сприяє переходу до нової парадигми управління – data-driven management, де основою прийняття рішень є системна аналітика, отримана з різномірних джерел у реальному часі.

Попри значні переваги, використання LLM пов'язане з низкою викликів:

Ризик «галюцинацій» – генерація неправдивої, але правдоподібної інформації, що є критичним ризиком для бізнес-аналітики.

Обчислювальні витрати – високі витрати на етапі навчання та інференсу. Для їх оптимізації активно використовуються методи квантизації (Quantization) і дистиляції (Distillation).

Безпека та конфіденційність – потреба у забезпеченні безпеки та конфіденційності бізнес-інформації, особливо при роботі з чутливими даними.

У подальшому очікується розроблення галузево орієнтованих LLM, здатних працювати з вузькоспеціалізованими даними, з використанням підходів Retrieval-Augmented Generation (RAG), що дозволяють моделі звертатися до корпоративних баз знань у режимі реального часу. Цей механізм є найбільш перспективним для створення надійних інтелектуальних систем підтримки бізнес-рішень.

Великі мовні моделі є фундаментом нової парадигми автоматизації бізнес-процесів. Їх архітектура, побудована на трансформерних механізмах, забезпечує високу продуктивність, гнучкість і адаптивність до різних галузей. Використання LLM у системах управління та аналітики створює умови для формування інтелектуальних цифрових підприємств, здатних до самонавчання та прогнозування.

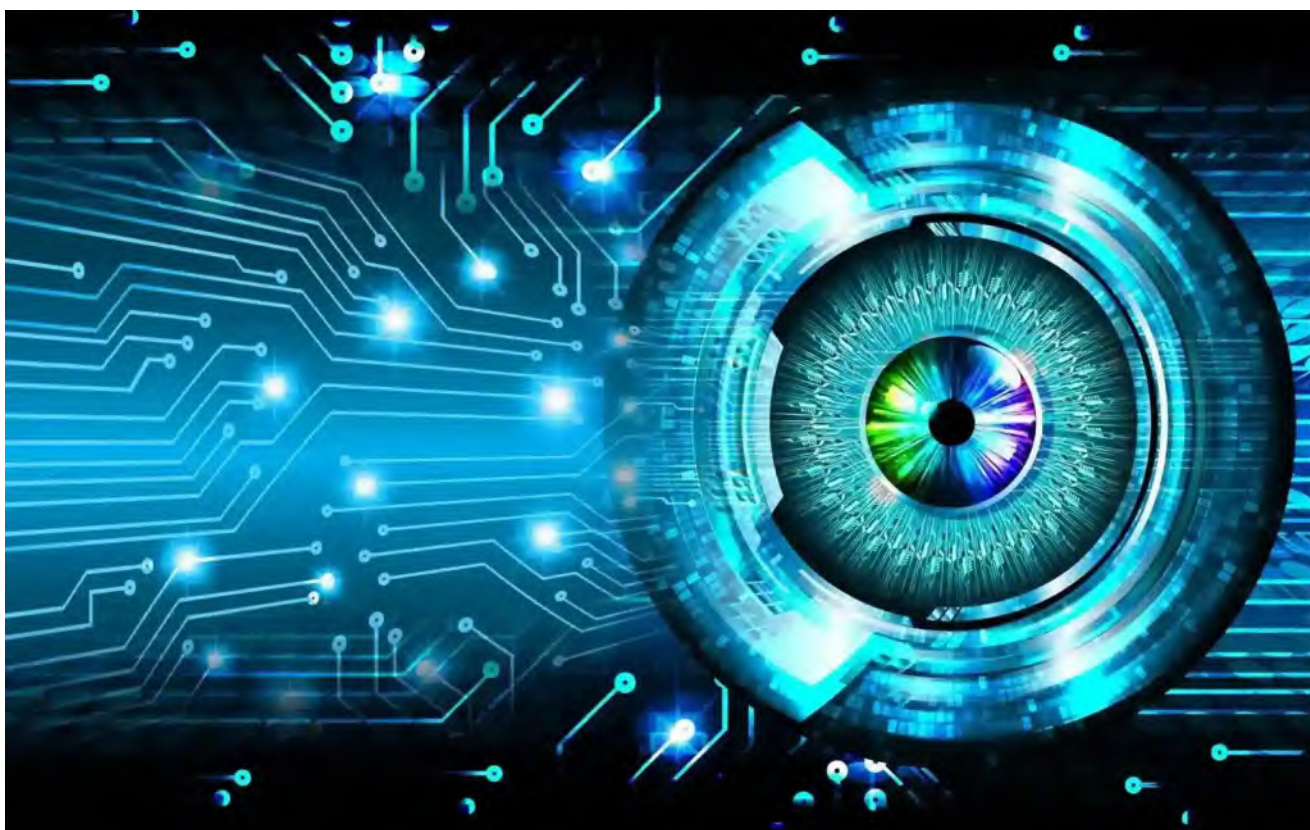
Подальші дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на підвищення ефективності інтеграції LLM у корпоративні інформаційні системи, розробку етичних стандартів використання ШІ та оптимізацію обчислювальних витрат.

Список використаних джерел

1. Дмитренко С. О., Кіршак Х. І. Застосування великих мовних моделей для інтелектуальної підтримки прийняття рішень і управління технологічними процесами в нафтогазовидобувній галузі. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2025. № 3. С. 85-102. <https://doi.org/10.32782/tmv-tech.2025.3.10>.
2. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser L., Polosukhin I. Attention Is All You Need. *arXiv*. 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>.
3. Rustamova S., Rustamov F. Problems of integrating artificial intelligence with SCADA systems. *ScienceRise*. 2024. №2. Р. 106-117. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003691>.
4. Доскач Д., Хавалко В. Застосування великих мовних моделей в оптимізації процесу е-рекрутингу. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2024. Т. 335 № 3(1). С. 393-398. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-53>.

MACHINE VISION

[МАШИННИЙ ЗІР]



КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР У РОБОТИЗОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Воротнікова Злата Євгенівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій, mailgoldmailgold@gmail.com¹

Бугуцький Ілля Геннадійович, студент групи МА-24-М¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Комп'ютерний зір у роботизованих автоматизованих системах – це сукупність технологій та компонентів, які дозволяють роботу «бачити», інтерпретувати та аналізувати довкілля для прийняття рішень та виконання завдань. Основою застосування комп'ютерного зору є методи обробки зображень, статистичні алгоритми розпізнавання образів та сучасні підходи до глибокого навчання.

Ключові компоненти комп'ютерного зору у робототехніці включають: оптичні датчики та камери; попередня обробка зображень; алгоритми аналізу зображень; розпізнавання об'єктів та сцен; інтеграція із системами управління роботом; програмне забезпечення та бібліотеки; обчислювальні платформи.

Найбільш популярне застосування комп'ютерного зору у роботизованих системах – автоматична ідентифікація та класифікація об'єктів. Спочатку ці завдання вирішувалися за допомогою виділення ознак та навчання машинних алгоритмів (наприклад, методом опорних векторів) [1]. З розвитком згорткових нейронних мереж можливості класифікації значно розширилися, що дозволило розпізнавати складні структури та деталі виробів на виробничій лінії [2].

Робота роботів у динамічному середовищі, такий як склад чи виробництво, потребує адекватного сприйняття навколишнього оточення. Методи стеження за об'єктами, що рухаються, визначення положення в просторі, а також одночасної локалізації та картографування відіграють важливу роль у завданнях складання та логістики.

Згортки нейронні мережі стали основним інструментом в області комп'ютерного зору завдяки здатності автоматично виділяти важливі ознаки з зображень. У робототехніці їхня перевага – можливість обробки потоків даних (наприклад, відео) у реальному часі за наявності достатньої обчислювальної потужності.

Для складних сценаріїв, таких як аналіз послідовностей кадрів або робота з тривимірними даними, системи можуть впроваджуватися рекурентні нейронні мережі та архітектури на базі трансформерів. Вони дозволяють враховувати часові залежності, наприклад, траєкторії руху, та в режимі онлайн коригувати дії робота.

Сучасна тенденція - використання розподілених архітектур, коли первинна обробка даних (edge computing) здійснюється прямо на пристрої або роботі, а складніший аналіз та навчання моделей - у хмарі. Такий підхід скорочує затримки та підвищує стійкість системи при збоях мережі.

Для промислових завдань важливий підбір спеціалізованих камер з високою роздільною здатністю та високою швидкістю зйомки (high-speed cameras). Також необхідне періодичне калібрування, включаючи корекцію спотворень об'єктива, особливо при точних вимірах геометричних параметрів.

Роботизовані системи вимагають обчислювальних модулів, здатних обробляти великі обсяги даних у часі. У таких випадках використовують графічні процесори та нейромодульні рішення, що забезпечує паралельну та ефективну обробку. Важлива сумісність із існуючими системами управління та промисловими протоколами.

Один із найбільш затребуваних напрямків – контроль якості продукції в реальному часі, що дозволяє своєчасно виявляти дефекти. Для цього використовують алгоритми розпізнавання образів та сегментації зображень [3].

У машинобудуванні та металургії широко застосовують системи аналізу поверхні за допомогою згорткових нейронних мереж, які порівнюють поточні зображення з еталонами.

Наприклад, при перевірці радіаторів охолодження контролюють стільники та ребра на наявність тріщин або дефектних пайових з'єднань.

Сучасні виробничі лінії генерують великі обсяги даних, які можуть використовуватися для аналітичної звітності та прийняття управлінських рішень. Аналіз появи дефектів різних етапах дозволяє своєчасно коригувати виробничий процес, знижуючи відсоток шлюбу і підвищуючи загальну ефективність [4].

Камери з комп'ютерним зором можуть автоматизовано контролювати запаси на складах, ідентифікуючи товари за штрих-кодами або QR-кодами. Такий підхід забезпечує прозорість обліку, зменшує помилки та дозволяє швидко реагувати на зміни попиту. Деякі системи додатково визначають розміри та форми вантажів, що допомагає оптимізувати складські площі та логістичні маршрути [5].

Використання комп'ютерного зору разом із машинним навчанням дозволяє прогнозувати потреби у товарах і компонентах, аналізуючи показники продажів, сезонність і виробничі параметри. Це допомагає знизити надлишки запасів за умови збереження готовності до ринкових коливань. У реальному часі відеоспостереження доповнює ці дані більш точного відстеження переміщень товарів.

Один із важливих додатків – автоматичний контроль за носінням засобів індивідуального захисту (каски, рукавички, окуляри). Системи на базі штучного інтелекту можуть швидко виявляти порушників та відправляти повідомлення відповідальним, що особливо важливо у небезпечних виробничих умовах для запобігання аваріям та травмам [6].

Камери з алгоритмами аналізу сцени та виявлення відхилень дають змогу своєчасно реагувати на погрози, такі як: перевантаження обладнання; поява сторонніх предметів чи людей у небезпечній зоні; несанкціонований доступ до критичних об'єктів.

Поєднання комп'ютерного зору та промислових роботів розширює можливості автоматизації складних виробничих процесів. Оснащені «зором», роботи можуть розпізнавати орієнтацію деталей, захоплювати та сортувати їх без участі людини, що потребує високої точності та надійності.

У рамках концепції «Розумного виробництва» (Smart Manufacturing) комп'ютерний зір вважається одним із ключових елементів, що дозволяють збирати дані про стан обладнання та продукції в реальному часі [4, 7]. Ці дані є підставою для адаптації технологічних параметрів, переналадження ліній та інтеграції в глобальні ланцюжки поставок.

Розглянуті області є основними сферами застосування комп'ютерного зору сучасної промисловості. Такі системи дозволяють відслідковувати стан товарів та обладнання в реальному часі, приймати рішення щодо коригування виробничого процесу, при цьому ефективність досягається за рахунок тісної інтеграції зі штучним інтелектом, який аналізує великі масиви даних та формує прогнози. Все це сприяє підвищенню продуктивності, покращенню якості продукції та збільшенню конкурентоспроможності підприємств.

Список використаних джерел

1. Wang T. et al. A new perspective for computational social systems: Fuzzy modeling and reasoning for social computing in CPSS //IEEE Transactions on Computational Social Systems. – 2022. – Т. 11. – №. 1. – С. 101-116.
2. Vaswani A. Attention is all you need //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – С.1-15.
3. Ribeiro J. et al. Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0—a literature review//Procedia Computer Science. – 2021. – Т. 181. – С. 51-58.
4. Shekhar S. S. Artificial intelligence in automation //Artificial Intelligence. – 2019. – Т. 3085. – №. 6. – С. 14-17.
5. Prasad R. et al. Integration of Computer Vision Systems in Robotics and Industry 4.0 //2024 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT). – IEEE, 2024. – С. 1492-1497.
6. Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer vision techniques in manufacturing //IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 2022. – Т. 53. – №. 1. – С. 105-117.

7. Umar M. et al. Role of Computer Vision in Manufacturing Industry //Machine Vision and Industrial Robotics in Manufacturing. – CRC Press, 2025. – С. 14-35.

РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Гриценко Олексій Михайлович, аспірант гр. А-64/КН, alexsumy95@gmail.com¹

П'ятаченко Владислав Юрійович, PhD., асистент кафедри комп'ютерних наук,
vl.piatachenko@cs.sumdu.edu.ua¹

¹ Сумський державний університет, м. Суми

Розпізнавання тепловізійних зображень є складним завданням комп'ютерного зору, оскільки такі дані суттєво відрізняються від звичайних RGB-знімків. Теплові камери реєструють інтенсивність інфрачервоного випромінювання, що характеризує розподіл температури на поверхнях, а не відбиття видимого світла. Через це теплові кадри позбавлені кольорової та текстурної інформації, мають низьку контрастність і підвищену чутливість до шумів сенсорів. Додаткові труднощі створюють коливання температури довкілля, атмосферні впливи, різна емісійна здатність матеріалів і обмежена роздільна здатність тепловізійних датчиків [1]. Такі особливості ускладнюють розпізнавання об'єктів традиційними методами обробки зображень і потребують моделей, здатних працювати з малоінформативними та зашумленими даними.

Сучасні підходи базуються на використанні глибоких нейронних мереж, насамперед згорткових (CNN), які ефективно вилучають локальні просторові ознаки – контури, форми та температурні текстури. На ранніх шарах CNN визначаються елементарні градієнти, а на глибших – узагальнені представлення об'єктів, стійкі до змін масштабу чи положення. Завдяки цьому CNN широко застосовуються у тепловізійних системах спостереження, діагностики та моніторингу [2].

Водночас CNN обмежені у моделюванні контексту сцени, оскільки працюють переважно в межах фіксованого поля сприйняття. Цю проблему вирішують трансформерні архітектури (Vision Transformer, Swin Transformer), які завдяки механізму уваги аналізують зв'язки між віддаленими фрагментами зображення. У Vision Transformer кадр ділиться на ділянки (patches), що перетворюються у вектори ознак, а механізм уваги визначає найбільш інформативні області. Це дозволяє враховувати не лише локальні особливості, а й глобальний контекст, що є важливим для теплових даних із розмитими контурами або неоднорідним фоном [3]. Swin Transformer поєднує переваги CNN і ViT, обчислюючи увагу в межах зсувних локальних вікон, що забезпечує баланс між точністю та швидкістю [4].

Для аналізу теплових відеопослідовностей застосовуються рекурентні мережі (RNN, LSTM, GRU), здатні враховувати часову динаміку та зберігати інформацію про попередні стани. LSTM забезпечують стабільність навчання для довгих послідовностей, тоді як GRU є ефективнішими для коротких серій кадрів, що робить їх зручними для систем моніторингу чи безпеки.

Попри успіхи глибоких моделей, вони залишаються чутливими до шумів і нестабільності теплових даних, а навчання потребує великих обсягів розмічених прикладів, які часто відсутні. Тому перспективним напрямом є гібридизація нейромережових і класичних методів класифікації. У межах цього підходу згорткова мережа використовується як екстрактор просторових ознак, тоді як фінальне рішення приймає класифікатор на основі інформаційно-екстремального підходу (IEIT). На відміну від традиційних функцій втрат, IEIT оптимізує інформаційний критерій, який оцінює повноту та достовірність представлення класів у просторі ознак.

Такий гібрид має кілька переваг [5].

По-перше, зменшується чутливість моделі до шуму та перенавчання, оскільки класифікатор працює лише з інформативними ознаками.

По-друге, підвищується узагальнювальна здатність при обмежених навчальних вибірках, що підтверджується ефективністю гібридів CNN-SVM для термографічних зображень[5].

По-третє, ІЕІТ-інформаційна міра забезпечує пояснюваність рішень, дозволяючи оцінювати внесок кожної ознаки у формування меж класів – важливо для систем моніторингу й безпеки.

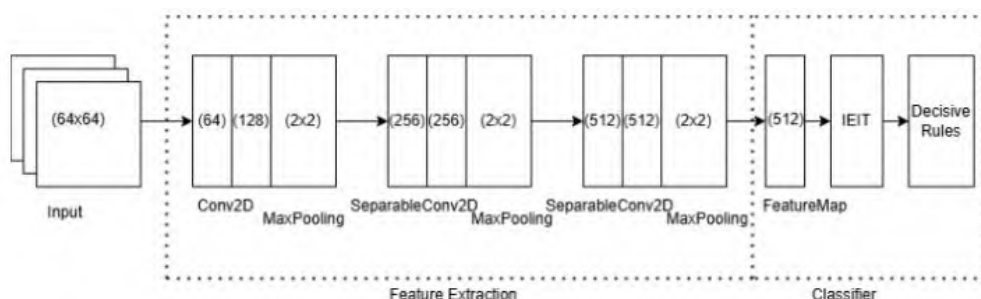


Рисунок 1 – Концептуальна схема моделі нейромережі гібридної архітектури

Гібридна архітектура CNN + ІЕІТ (рис. 1) поєднує глибоке вилучення ознак із аналітичними можливостями інформаційно-екстремального аналізу. Запропонований підхід підвищує стійкість до шумів і ефективність роботи з тепловими зображеннями низької якості, забезпечуючи стабільні результати навіть за складних умов зйомки. Подальші дослідження планується спрямувати на експериментальну перевірку моделі на відкритих тепловізійних наборах даних і порівняння її з архітектурами CNN, ViT та SVM.

Список використаних джерел

1. Khor, W. L., Tan, S. Y., Ong, H. J., & Tan, K. H. (2024). Automated detection and classification of concealed objects using infrared thermography and convolutional neural networks. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56636-8>
2. Cha, Y., Lee, S., Kim, J., & Park, H. (2025). Deep learning-assisted thermal image analysis for assessment of cementitious composite flaws. *Case Studies in Construction Materials*, 23, e05161. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05161>
3. Yun, H., Lo, S., & Lee, J. (2024). VisTA-SR: Improving the accuracy and resolution of low-cost thermal imaging cameras for agriculture. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops* (pp. 5470–5479).
4. Sommer, K., Kabalan, W., & Brunet, R. (2024). Infrared radiometric image classification and segmentation of cloud structure using deep-learning framework for ground-based infrared thermal camera observations. *EGUsphere*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-101>
5. Zaghdoudi, R., & Fargani, N. (2024). A Hybrid CNN-SVM Model for High-Accuracy Defect Detection in PV Modules Using Infrared Images. *Algerian Journal of Renewable Energy and Sustainable Development*, 6(01), 44-52.

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ У ВИРОБНИЦТВІ ВЕЛОСИПЕДІВ

Овдий Мирослав, студент групи ВР-23, miroslavbyvalin9@gmail.com ¹
Кейда Світлана Іванівна, викладачка інформатики, учителька вищої кваліфікаційної
категорії, учитель-методист, keydasvetlana72@gmail.com ¹

¹ ВСП «Маріупольський політехнічний фаховий коледж ДВНЗ «Приазовський
державний технічний університет»

Машинний зір – це технологія, яка дозволяє техніці «бачити» та розпізнавати об'єкти на зображеннях так само, як це робить людина. В основі системи машинного зору знаходяться такі компоненти: камери, освітлювачі, оптичні лінзи та програмне забезпечення, яке аналізує отримані зображення для цього часто використовуються методи комп'ютерного зору і машинного навчання.

Спочатку камера робить знімок об'єкта або стоп кадр та передає його у комп'ютер. Далі, зображення перетворюється в цифрову форму та проходить попередню обробку: прибирається шум, налаштовується яскравість, контраст. Після цього програма виділяє важливі елементи - контури, форму, розмір, текстуру та інші характеристики. Отримані дані порівнюються з еталонами зразками які надала людина або вивченими нейронною мережею під час навчання даними.

На основі зібраних даних порівняльна система робить висновок: чи відповідає об'єкт стандартам, чи є на ньому дефекти. Якщо виявлено дефект, система може подати сигнал оператору або навіть автоматично зупинити виробництво та робочі машини щоб уникнути випуску браку. Добре освітлення тут відіграє дуже важливу роль. Для точної перевірки необхідно, щоб освітлення було налаштованим та правильно підібраним, інакше система може неправильно визначити якість об'єкта.

У виробництві велосипедів машинний зір використовується в таких операціях як контроль якості зварних швів рам. Від точності та якості зварювання безпосередньо залежить міцність та надійність рам. Наприклад, велосипедні виробники: Van Raam (виробник велосипедів для людей з особливими потребами), VDL Groep, Giant, Trek застосовують роботизовані комплекси зварювання та системи машинного зору для автоматичної перевірки цілісності швів. Машинний зір дозволяє виявити мікротріщини, порожнечі, непроплавлені ділянки або надлишкові наплавлення. Якщо використовуються 3D-сканери то технологія аналізує як поверхню та внутрішній профіль шва. Порівнюючи форму шва з еталонною моделлю, система миттєво фіксує будь-які відхилення.

Крім того, машинний зір активно застосовується для контролю фарбування рам. Для компаній Cannondale та Bianchi зовнішній вигляд продукції є головним елементом бренду. Системи візуального аналізу з багатоспектральних камер виявляють навіть мінімальні дефекти: нерівномірність нанесення фарби, будь-які пилові вклучення, плями або відхилення від стандарту кольору. Завдяки цьому виробник гарантує однакову якість забарвлення всіх партій велосипедів та знижує кількість бракованої продукції.

Машинний зір також застосовується для точного виміру геометрії. Для збирання велосипедної рами важливий кожен міліметр: кут нахилу кермової труби, відстань між осями, діаметр сполучних елементів. 3D-профілометри та камерні вимірювальні системи дозволяють автоматично звіряти деталі із заданими допусками, виключаючи людський фактор. Крім того, технологія використовується для зчитування маркування: серійних номерів, QR-кодів на рами. Це необхідно для відстеження кожної рами на всіх етапах виробництва.

Серед ключових переваг машинного зору можна виділити зниження кількості браку, підвищення стабільності якості та скорочення витрат на переробку бракованих рам. На відміну від людини, системи не втомлюються, не втрачають уважності і працюють постійно з однаковою точністю якщо доглядати за обладнанням. Крім того, дані що збираються під час

виробництва, можна використовувати для аналізу причин виникнення дефектів, поліпшення технологічних процесів і прогнозування зносу обладнання.

Проте використання машинного зору вимагає ретельної підготовки. Необхідно правильно налаштувати освітлення, вибрати відповідні камери та об'єктиви, провести калібрування та навчити систему на реальних виробничих даних. Також потрібне навчання персоналу та інтеграція системи з наявним обладнанням. Важливо враховувати, що такі системи коштують дуже дорого: базовий комплект промислових камер з програмним забезпеченням може коштувати від 2 до 10 тисяч доларів а комплексні рішення з 3D-сканерами та роботизованими маніпуляторними машинами - від 30 до 150 тисяч доларів. Додаткові витрати пов'язані з встановленням, налаштуванням та технічним обслуговуванням всієї системи. Тому, на мою думку, використання машинного зору є дороговартісною та довгостроковою інвестицією у підвищення якості та стабільності виробництва.

Незважаючи на це, тенденції показують, що роль машинного зору лише зростатиме у сучасному світі. Завдяки зростанню обчислювальних можливостей сучасні системи набувають більшої автономності та здатності до навчання, що дозволяє їм аналізувати зображення в реальному часі під час виробничого процесу. Це робить виробництво велосипедів більш точним, технологічним та конкурентоспроможним.

Список використаних джерел

1. 2021 Cannondale Synapse Sora: AI in Cycling Technology. ReelMind. URL: https://reelmind.ai/blog/2021-cannondale-synapse-sora-ai-in-cycling-technology?utm_source=chatgpt.com
2. Smart Bicycle Manufacturer in Taiwan. GIANT GROUP. URL: https://www.giantgroup-cycling.com/en/technology01?utm_source=chatgpt.com
3. VDL Groep. URL: https://www.vdlautomatedvehicles.com/en/news/news-archive/2023/vdl-groep-to-produce-bicycle-frames?utm_source=chatgpt.com
4. Van Raam Special Needs Bicycles: Mastering Mobility with 3D Metrology. ZEISS Industrial Quality Solutions. URL: https://www.zeiss.com/metrology/en/industries/success-stories/van-raam.html?utm_source=chatgpt.com
5. Customer Story: Trek Bicycle. Lumafield. URL: https://www.lumafield.com/case-studies/customer-story-trek-bicycle?utm_source=chatgpt.com

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБАСТНОСТІ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРУКОВАНИХ ЦИФР ЗА УМОВ РІЗНИХ РІВНІВ ІМПУЛЬСНОГО ШУМУ

Проніна Ольга Ігорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, pronina_o_i@pstu.edu¹,

Перцев Євген Андрійович, студент групи КН-24-М, pertsev_y_a.@students.pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Розпізнання друкованих цифр є однією з підзадач оптичного розпізнання символів. Системи, що здатні зчитувати друкований текст, дозволяють автоматизувати документообіг, цифровізувати паперові, друковані дані, переводити растровий формат зображень у відповідний текстовий тощо. У реальному світі дані ніколи не бувають ідеальними. Фізичні предмети можуть мати пошкодження, затертості, деформацію. Зображення, в свою чергу, можуть мати розмиття, шум, артефакти стиснення, недостатню яскравість. Тому важливо враховувати ці потенційні проблеми для підвищення якості систем розпізнання тексту, щоб вони могли працювати навіть при серйозних пошкодженнях даних.

Актуальність роботи полягає в дослідженні робастності моделі нейронних мереж при виконанні завдань розпізнання цифр та залежності точності моделі від пошкоджень даних.

Метою є дослідження точності згорткової нейронної мережі в залежності від ступеня спотворення даних, а саме – спотворення імпульсним шумом (фільтр «сіль-перець» [1]) [2].

Єдиним змінним параметром в даній роботі є ступінь спотворення (“р”). Він варіюється від 0 до 2 з кроком 0.2. 0 – це абсолютна відсутність фільтру; 1 – повна наявність фільтру, 2 – абсолютно чорне зображення, яке теоретично вже не може прочитати.

Для навчання і тестування моделі взято відкритий датасет «Printed Digits Dataset». Завдання виконано таким чином:

- Відбувалася ітерація значення «р», тобто, для кожного розподілялися заново картинки та навчалася і тестувалася модель.

- На кожній ітерації для кожної цифри картинку розділялися випадковим чином в пропорції 70 на 30 відсотків на тренувальні та тестувальні відповідно.

- Для кожного набору 60% залишалися чистими, без фільтру, а 40% оброблялися фільтром зі вказаним значенням “р”. Таким чином модель вивчає більшість зображень як «ідеальні» з урахуванням великої частини «пошкоджених» даних.

- Модель навчається на даному датасеті, виводяться точність та демонструються розпізнані цифри для візуалізації.

У даній роботі моделлю є згортова нейронна мережа [3], архітектура якої реалізована за допомогою бібліотеки Tensorflow [4]. Мережа складається з наступних шарів:

- Conv2D (32 фільтри, ядро 3x3, активація 'relu');
- MaxPooling2D (2x2);
- Flatten;
- Dense (64 нейрони, активація 'relu');
- Dense (10 нейронів, активація 'softmax' для класифікації на 10 цифр).

Приклади зображень цифр наведено на рисунку 1. Результати експерименту наведено у таблиці 1. Графік точності зображено на рисунку 2.

Таблиця 1 – Результати експерименту

Параметр р	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Точність (Accuracy)	0.9918	0.9888	0.9735	0.9635	0.9265	0.8829	0.8071	0.7347	0.6747	0.6594	0.6341
Втрати (Loss)	0.0207	0.0542	0.0856	0.1221	0.2234	0.3827	0.6493	0.9726	1.3056	1.1486	0.9405

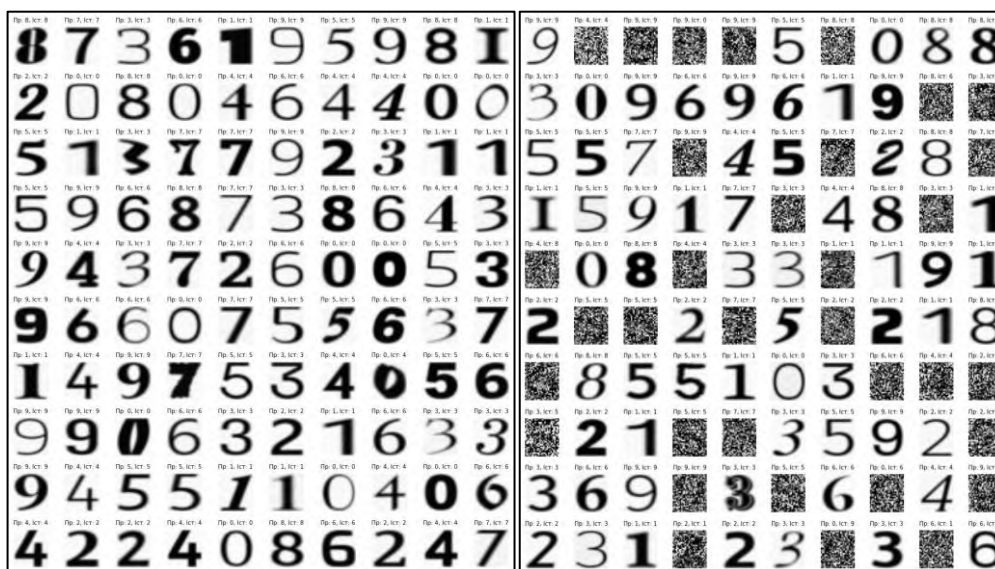


Рисунок 1 – Цифри при р=0 (зліва) і при р=0.6 (справа)

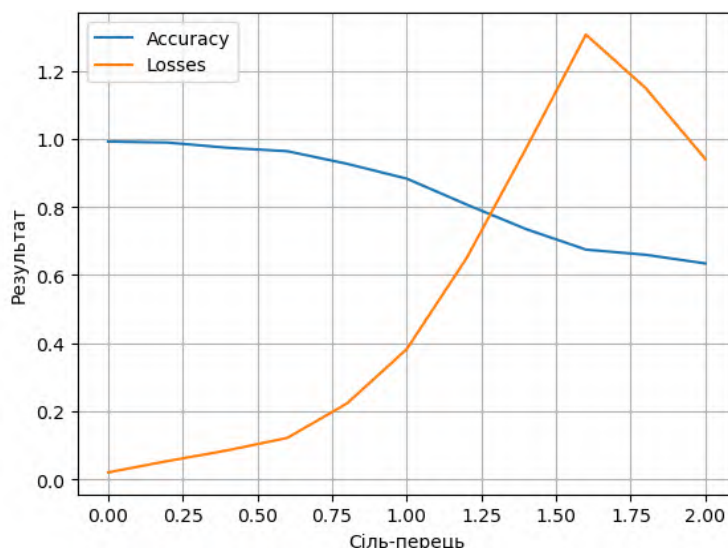


Рисунок 2 – графік залежності точності від кількості імпульсного шуму

За результатами дослідження можна сказати, що модель є робастною. Стійкість до шуму є високою, адже точність класифікації цифр є високою навіть при великих значеннях p . Точність досягла свого мінімуму при найвищому можливому значенні $p = 2.0$, а саме 0.6341. Враховуючи, що 60% даних є чистими, і на чистих даних модель має точність 99.18% ($p=0.0$), тож очікувана мінімальна точність в найгіршому наборі є приблизно 59.5%. Також можна врахувати, що модель має ймовірність у 10% «вгадати» цифру, що може підвищити можливий мінімальний відсоток точності у конкретному випадку на 4% до 63.5%, що ми і бачимо при $p=2.0$.

Список використаних джерел

1. Розробка та застосування комп'ютерної програми для оцінки якості обробки зображень на основі дослідження згорток. – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/46736> DOI: 10.31649/1681-7893-2025-49-1-64-71
2. Maity, Alenrex & Chatterjee, Rishav. (2018). Impulsive Noise in Images: A Brief Review. Computer Vision Graphics and Image Processing. Vol 4. 6-15. 10.19101/TIPCV.2017.39025. https://www.researchgate.net/publication/324064272_Impulsive_Noise_in_Images_A_Brief_Review
3. Raj, R.; Kos, A. An Extensive Study of Convolutional Neural Networks: Applications in Computer Vision for Improved Robotics Perceptions. Sensors 2025, 25, 1033. <https://doi.org/10.3390/s25041033>
4. Бібліотека для створення і використання нейронних мереж. Режим доступ – <https://www.tensorflow.org/>

THE USE OF EYE-TRACKING TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL SYSTEMS

Chupryna Volodymyr Andriyovych, Master's student specialization Software Engineering, ipzm251_chva@student.ztu.edu.ua¹

Savitskyi Roman Svyatoslavovych, PhD student, Senior Lecturer of the Department of Software Engineering, roman.savitskyi@gmail.com¹

¹ Zhytomyr Polytechnic State University

Eye-tracking technology offers a powerful and direct lens into the covert cognitive processes that underpin learning, moving beyond traditional laboratory confines to find a growing role within educational systems. This paper examines the utility of eye-tracking as a diagnostic and analytical instrument for understanding student learning. The discussion explores its application for the objective measurement of cognitive load through specific metrics such as fixation duration and pupil dilation,

the analysis of problem-solving strategies by comparing the gaze patterns of experts and novices, and its integration into adaptive learning systems for providing real-time feedback. Notwithstanding this considerable potential, significant methodological, practical, and ethical challenges persist, including complexities in data interpretation, substantial equipment costs, and critical concerns regarding student privacy. It is argued that for eye-tracking to be integrated effectively, a concerted effort must be made to address these challenges, thereby shifting the technology's focus from one of surveillance to one of personalized pedagogical support. The review concludes by considering future directions, including multimodal data integration and a transition towards more naturalistic classroom environments.

Understanding the mechanisms of student learning represents a fundamental objective within educational research. While traditional methods such as self-reports, interviews, and post-task assessments yield valuable insights, they often fail to capture the dynamic and immediate cognitive processes that occur during learning activities [1]. Students may find themselves unable or unwilling to accurately report their own attentional focus or cognitive effort. In this context, eye-tracking technology emerges as a non-intrusive and objective methodology for measuring where and for how long an individual directs their visual attention. This approach is grounded in the 'eye-mind hypothesis,' which posits a strong connection between a person's gaze and their cognitive focus. Eye-tracking thereby provides a continuous stream of data concerning attentional allocation, allowing researchers and educators to make inferences about cognitive states including attention, cognitive load, and confusion [2]. Recent years have witnessed a reduction in hardware costs and significant advancements in data analysis, which together have created new possibilities for integrating this technology into diverse educational systems, from digital textbooks to sophisticated intelligent tutoring systems.

A particularly promising application of eye-tracking lies in the objective measurement of cognitive load. Cognitive Load Theory suggests that learning is most effective when the cognitive demands of a task do not exceed a student's working memory capacity. Eye-tracking offers specific metrics that serve as reliable proxies for this cognitive load. For instance, increased fixation duration, referring to the time the eye remains stationary on a specific point, and increased pupil dilation are strongly correlated with higher task difficulty and greater mental exertion. By analysing such gaze data, an educational system could potentially discern whether a student is experiencing extraneous cognitive load, perhaps due to a confusing interface, or intrinsic load, stemming from the inherent complexity of the learning material, and could subsequently adapt the instructional presentation accordingly. Beyond the measurement of cognitive load, eye-tracking is highly effective at revealing the distinct strategies employed by different learners. By defining Areas of Interest on a screen, such as a specific diagram, a text passage, or a line of code, researchers can compare the visual scan patterns of experts and novices. Studies consistently demonstrate that experts, when engaged in problem-solving, tend to spend more time fixating on relevant information and exhibit more structured and efficient visual pathways [3].

An Intelligent Tutoring System equipped with an eye-tracker can progress beyond merely reacting to a student's final answer. Such a system could detect subtle patterns indicative of mind-wandering, such as a gaze drifting away from the task area, or confusion, evidenced by excessive re-reading of a simple sentence. Upon detecting these patterns, the system could intervene with a timely prompt, a strategic hint, or a simplified explanation. This capability creates a more personalized and responsive learning feedback loop, addressing difficulties as they emerge rather than after a failure has already occurred. Despite this compelling potential, the widespread adoption of eye-tracking in authentic classroom settings faces considerable hurdles. The methodological challenge of interpretation is non-trivial; a prolonged fixation can signify deep processing and engagement, but it can equally signify confusion or a blank stare. Correctly interpreting gaze data thus requires robust theoretical models and contextual understanding [4].

From a practical standpoint, traditional eye-tracking systems often require costly hardware and individual calibration, making large-scale classroom deployment impractical. Although emerging webcam-based tracking offers a more accessible alternative, it frequently lacks the precision of dedicated hardware. More significantly, eye-tracking captures highly sensitive biometric data that can

be used to infer a user's cognitive state, interest level, or even potential learning disabilities. This capacity raises profound ethical and privacy concerns. The data collected must be securely stored, anonymized, and protected from any form of misuse. Furthermore, if eye-tracking feedback is presented as an optional feature, it risks creating an equity gap, wherein students who consent to the monitoring receive enhanced pedagogical support while those who value their privacy are left behind. In conclusion, this review has demonstrated that eye-tracking technology is evolving from a specialized laboratory instrument into a potentially powerful pedagogical tool. Its utility has been considered in three key areas: as an objective diagnostic for measuring cognitive load in real-time; as an analytical method for deconstructing and comparing problem-solving strategies; and as a sensory input for advanced adaptive learning systems that respond to a student's attentional state [5].

Nevertheless, this potential is currently moderated by significant practical and ethical obstacles. The practical challenges of equipment cost, calibration time, and the inherent interpretation problem remain substantial. The ethical concerns are even more profound; as systems capture sensitive data capable of inferring cognitive states, they raise critical questions regarding student privacy, data security, and the potential for creating a privacy divide. Therefore, the future of eye-tracking in education hinges on resolving this core tension. Future work must focus not only on technological advancements, such as more robust webcam-based tracking and multimodal analytics that combine gaze with other data streams, but also, and with equal importance, on the development of strong ethical frameworks and governance. The ultimate goal must be to ensure current technology is implemented not as an instrument of surveillance, but as a supportive scaffold, dedicated to providing truly personalized and effective pedagogical support for every learner.

References

1. Sáiz-Manzanares, M. C., Marticorena-Sánchez, R., Martín Antón, L. J., González-Díez, I., Carbonero Martín, M. Á. Using Eye Tracking Technology to Analyse Cognitive Load in Multichannel Activities in University Students / M. C. Sáiz-Manzanares, R. Marticorena-Sánchez, L. J. Martín Antón, I. González-Díez, M. Á. Carbonero Martín // International Journal of Human-Computer Interaction. – 2023. – DOI: [10.1080/10447318.2023.2188532](https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2188532).
2. D'Mello, S. K., Olney, A., Graesser, A. C. The eye-mind-computer hypothesis: How gaze-reactive computer systems can be used to advance cognitive science and education / S. K. D'Mello, A. Olney, A. C. Graesser // Educational Psychology Review. – 2012. – Vol. 24, No. 1. – P. 1–20. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-011-9173-2> (Accessed: 11 November 2025).
3. Gressel, J., Böck, R., Eivazi, S. Privacy-Aware Eye Tracking: Challenges and Future Directions [Electronic resource] / J. Gressel, R. Böck, S. Eivazi // arXiv. – 2023. – URL: https://www.collaborative-ai.org/publications/gressel23_pcm.pdf (Accessed: 11 November 2025).
4. Just, M. A., Carpenter, P. A. A theory of reading: From eye fixations to comprehension / M. A. Just, P. A. Carpenter // Psychological Review. – 1980. – Vol. 87, No. 4. – P. 329–354. – DOI: 10.1037/0033-295X.87.4.329.
5. Urovi, V., Fabri, M., D'Cruz, M. Utilizing Eye Tracking to Improve Learning from Examples / V. Urovi, M. Fabri, M. D'Cruz // Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on E-activities. – 2010. – P. 112–117. – URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/425R2PX7/> (Accessed: 11 November 2025).

ЧАСТКОВО-ОРІЄНТОВАНІ МОДЕЛІ ЯК МЕТОД БОРОТЬБИ З ОКЛЮЗІЄЮ ОБЛИЧЧЯ В СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ

Фоменко Вячеслав Олександрович, здобувач ступеня доктора філософії,
playfog3@gmail.com¹

Шовкопляс Оксана Анатоліївна, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук, o.shovkoplyas@mss.sumdu.edu.ua¹

¹Сумський державний університет, м. Суми

У роботі формалізовано проблему деградації точності систем розпізнавання облич (FR) за умов часткових перекриттів. Показано методологічні обмеження холістичних CNN-підходів та обґрунтовано доцільність частково-орієнтованих схем, які використовують видимі, високодискримінативні регіони обличчя. Запропоновано архітектуру part-based fViT, що поєднує семантично керовану локалізацію патчів навколо ключових точок із глобальним моделюванням взаємозв'язків за допомогою Vision Transformer. Окреслено план експериментальної валідації на відкритих наборах із синтетично індукованими оклюзіями та метрики оцінювання (Accuracy, TAR@FAR). Очікується істотне підвищення оклюзійної стійкості порівняно з базовою ArcFace-CNN.

Вступ

Сучасні FR-системи досягли високої точності на «чистих» наборах, однак у реальних умовах (відеоспостереження, мобільні пристрої, точки контролю) поширені перекриття нижньої/верхньої частини обличчя, часткові повороти, сильні тіні. Інваріантність глобальних ембедингів (FaceNet/ArcFace-подібні) обмежена: модель або «забиває» на оклюзовані регіони, або, навпаки, надмірно намагається їх інтерпретувати, вносячи шум. Частково-орієнтований підхід подає обличчя як сукупність стабільніших регіонів (очі-брови, ніс, щоки, чоло), де кожен регіон має власну вагу й показник довіри [1].

Мета і завдання

Мета: підвищити стійкість FR до оклюзій завдяки частково-орієнтованій репрезентації та навчанню, що враховує відсутні/спотворені частини.

Завдання:

- 1) сконструювати пайплайн локалізації регіонів обличчя та прогнозування маски оклюзії;
- 2) розробити модуль агрегації локальних ознак із увагою, зваженою на достовірності регіону;
- 3) визначити функції втрат, нечутливі до відсутніх частин та такі, що заохочують парто-консистентність;
- 4) валідувати на наборах із реальними й синтетичними перекриттями за протоколами верифікації/ідентифікації.

Огляд підходів

Глобальні ембединги демонструють високу ефективність на чистих даних, однак є крихкими щодо локальних артефактів. Occlusion-aware CNN/ViT вводять карти уваги або каналні маски, проте часто прив'язані до конкретного типу оклюзії. Part-based/Region-aware розбивають обличчя на фіксовані або landmark-керовані регіони, обчислюють локальні дескриптори, далі агрегують (concat/attention/pooling). У графових моделях (Graph-based) вершини відповідають регіонам зображення, а ребра – просторовим і семантичним зв'язкам між ними, що дає змогу поширювати контекст між видимими частинами об'єкта. Підходи на основі Self або Weak Supervision передбачають навчання через випадкове маскування та реконструкцію (MAE-подібні моделі), що природно відтворює умови оклюзій. [2].

Запропонований підхід

Запропонований пайплайн передбачає попереднє вирівнювання зображення та визначення ключових точок обличчя (landmarks), після чого виконується декомпозиція обличчя на окремі регіони: очі-брови (ліва/права частини), ніс, щоки (ліва/права частини), чоло та підборіддя. Для

кожного регіону формується окрема ознакова репрезентація з урахуванням видимості, що визначається модулем оклюзійної маски (OM-Head) із по-регіонною агрегацією. Екстракція локальних ознак здійснюється спільним backbone-енкодером із ROIAlign або незалежними енкодерами для кожного регіону. Подальша агрегація виконується за механізмом уваги (attention) з урахуванням видимості регіонів, а глобальний канал, сформований із цілого обличчя, інтегрується шляхом зваженої фузії локальних і глобальних векторів ознак [3, 4].

У системі використано комплекс функцій втрат, спрямованих на підвищення стійкості моделі до оклюзій. Зокрема, Occlusion-aware ArcFace модифікує класичну кутову маржу, застосовуючи її лише до видимих компонент обличчя. Part-consistency loss забезпечує зближення ознак відповідних видимих регіонів однієї особи, підтримуючи внутрішньокласову узгодженість. Hard-region mining акцентує процес навчання на проблемних або складних регіонах, підсилюючи дискримінативну здатність моделі. Нарешті, Self-masking regularization передбачає випадкове маскуванню окремих регіонів під час тренування, що сприяє формуванню оклюзійно-стійких представлень.

Під час інференсу реалізується механізм пояснюваності, заснований на поєднанні ваг уваги та карти видимості, які разом формують так званий «паспорт довіри» до прийнятого рішення. У разі низької сумарної видимості система може ініціювати відхилення розпізнавання або сформувати запит на повторне захоплення кадру для забезпечення достовірності результату [5, 6].

Дані й протокол оцінювання

Для експериментальної оцінки використовуються комбінації чистих наборів даних (LFW, IJB-C) та оклюзійних піднаборів (Occluded-LFW, AR Face із зразками, що містять шарфи та окуляри, MaskedFace-Net), а також синтетично згенеровані варіанти із випадковими блоками чи реалістичними текстурами маскуванню.

Протоколи оцінювання охоплюють задачі верифікації (ROC, $TPR@FPR = 1e-4$, EER), закритої та відкритої ідентифікації (CMC, Rank-1/5, mAP), а також тестування стабільності до кутових відхилень обличчя.

У рамках абляційного аналізу розглядаються такі конфігурації:

- без модуля OM-Head;
- без part-consistency loss;
- із використанням лише локальних або лише глобальних ознак;
- із різними схемами декомпозиції обличчя [7, 8].

Очікувані результати

1. Очікується приріст показника $TPR@1e-4$ на 3–8 п.п. на оклюзійних піднаборів порівняно з базовою моделлю ArcFace, за умов збереження незмінної точності на чистих даних.

2. Передбачається зростання Rank-1 у задачі відкритої ідентифікації за умов сильних оклюзій без зниження продуктивності більш ніж на 10–20 %.

3. Система забезпечуватиме пояснюваність результатів через теплові карти уваги та ваги регіонів, що можуть бути використані для аудиту процесу прийняття рішення.

Практична цінність

Відеоспостереження передбачає підвищення стабільності розпізнавання в умовах скупчення людей і за зимових погодних умов. Прикордонний та банківський контроль орієнтований на зниження частоти хибних відмов (false reject) за наявності часткових перекриттів обличчя. Мобільні пристрої забезпечують енергоефективну часткову перевірку автентичності із залученням лише видимих регіонів обличчя [9].

Обмеження і ризики

Нетипові об'єкти, зокрема маскарадні маски або екстремальні аксесуари, можуть вводити локальні модулі в оману. Юридичні та етичні аспекти (зокрема вимоги GDPR) потребують суворого дотримання. Похибки визначення landmarks за великих кутів повороту обличчя знижують якість декомпозиції; для їх компенсації доцільним є використання багокамерного або відео-стабілізованого вирівнювання [10].

Висновки

Частково орієнтовані моделі природно узгоджуються з феноменом оклюзії, оскільки ідентифікація базується на найбільш інформативних видимих регіонах, тоді як шумові компоненти відкидаються. Комбінування регіональної уваги, маски оклюзії та спеціально сконструйованих функцій втрат забезпечує підвищення якості без втрати універсальності. Подальші дослідження передбачають узгодження регіонів у часових послідовностях відео, застосування графових агрегацій і дистиляцію знань у мобільні моделі.

Список використаної літератури

- [1] Sun, Z., та ін. Part-based Face Recognition with Vision Transformers: preprint. arXiv:2212.00057, 2022.
- [2] Dosovitskiy, A., та ін. An Image is Worth 16×16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale: preprint. arXiv:2010.11929, 2020.
- [3] Dan, S., та ін. TransFace: Calibrating Transformer Training for Face Recognition... // Proc. of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2023.
- [4] Mi, Y., та ін. Data Synthesis with Diverse Styles for Face Recognition via 3DMM-Guided Diffusion // Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2025.
- [5] Jing, L., та ін. PAD: Patch-Agnostic Defense against Adversarial Patch Attacks // Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2024.
- [6] Gao, Y., та ін. Self-Supervised Facial Representation Learning with Facial Region Awareness // Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2024.
- [7] Mehta, V., та ін. EdgeFace: Efficient Face Recognition Model for Edge Devices: preprint. arXiv:2307.01838, 2023.
- [8] Al-qaness, M. A. A., та ін. Lightweight Deep Learning Models for Edge Devices – A Survey // International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management (IJCISIM). 2025.
- [9] Gherbi, A., та ін. A Review of Explainable AI: Challenges and Opportunities. DiVA portal, 2024.
- [10] Nauta, M., та ін. Recent Applications of Explainable AI (XAI): A Systematic Literature Review // Applied Sciences. 2024.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ З ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНІСТЮ «VISUALLEARN» ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ НАВЧАЛЬНИХ КОНЦЕПЦІЙ

Шостак Владислав Сергійович, студент групи МА-23, shostak_v_s@pstu.edu¹,
Балалаєва Олена Юріївна, канд. техн. наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій, balalaeva_e_u@pstu.edu¹,

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сучасний освітній процес у вищій школі, особливо в рамках STEM-дисциплін (наука, технології, інженерія та математика), характеризується високим рівнем абстракції та інформаційної щільності. Студенти стикаються з необхідністю засвоєння складних, багатовимірних концепцій, таких як атомна структура речовин, принципи роботи механізмів, біологічні процеси на клітинному рівні або архітектурні конструкції. Традиційні методи навчання, що спираються на двовимірні ілюстрації, статичні схеми та текстові описи, часто виявляються недостатніми. Вони створюють високе когнітивне навантаження, вимагаючи від студента самостійно будувати складні просторові уявлення на основі плоских зображень, що не завжди є ефективним і призводить до поверхневого розуміння матеріалу.

Розвиток імерсивних технологій, зокрема доповненої реальності (Augmented Reality, AR), відкриває нові горизонти для педагогічного дизайну. AR дозволяє інтегрувати цифрові тривимірні об'єкти, анімації та дані в реальне фізичне середовище користувача в режимі реального часу. На відміну від віртуальної реальності (VR), що повністю занурює користувача в цифровий світ, AR доповнює його, створюючи унікальний гібридний досвід. Цей підхід сприяє

кращому засвоєнню матеріалу, оскільки дозволяє перетворити пасивне споживання інформації на активний процес дослідження та взаємодії.

Аналіз ринку освітніх AR-застосунків (Anatomy 4D, JigSpace, Assemblr EDU) показує значний потенціал технології, однак виявляє і низку системних проблем: більшість рішень є вузькоспеціалізованими (наприклад, лише для анатомії), мають закриту екосистему контенту, що не дозволяє викладачам інтегрувати власні матеріали, або вимагають значних фінансових інвестицій. Відсутність універсальної, гнучкої та доступної платформи стримує масове впровадження AR у навчальний процес.

Метою даної роботи є розробка універсальної мобільної AR-платформи VisualEarn для операційних систем iOS та Android. Платформа покликана подолати обмеження традиційних навчальних засобів шляхом надання студентам та викладачам інструментів для інтерактивної візуалізації та дослідження складних навчальних концепцій у доповненій реальності.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- розробити архітектуру мобільного застосунку, що підтримує технології розпізнавання маркерів та відстеження простору;
- реалізувати функціонал для відображення, масштабування та інтерактивної взаємодії з 3D-моделями;
- створити бібліотеку базового навчального контенту з ключових дисциплін (;
- розробити інструментарій, що дозволяє викладачам прив'язувати власний 3D-контент до навчальних матеріалів;
- забезпечити кросплатформову сумісність та оптимізувати продуктивність для широкого спектра мобільних пристроїв.

Розглянемо ключові функціональні можливості платформи VisualEarn.

1. «Живі» підручники (Marker-Based AR). Ця функція перетворює будь-який друкований матеріал на інтерактивний. Наводячи камеру смартфона на спеціальний маркер (це може бути як QR-код, так і будь-яке унікальне зображення-ілюстрація), користувач активує AR-сцену. Застосунок розпізнає візуальний якір і миттєво накладає на нього відповідну 3D-модель. Наприклад, пласка схема двигуна внутрішнього згоряння на сторінці підручника перетворюється на повноцінну анімовану 3D-модель, що демонструє робочий цикл поршнів. Це дозволяє студенту розглянути об'єкт з усіх боків, не відриваючись від контексту навчального тексту.

2. Інтерактивні 3D-моделі в просторі (Markerless AR). Платформа містить обширну бібліотеку високодеталізованих 3D-моделей. Завдяки технології відстеження площин, студент може розмістити будь-яку модель у своїй кімнаті в реальному масштабі. Моделі є не просто статичними об'єктами: користувач може взаємодіяти з ними – розбирати на складові частини, активувати анімації, вмикати режим «рентгену» для перегляду внутрішньої структури та отримувати інформацію з інтерактивних анотацій.

3. Симуляція динамічних та прихованих процесів. VisualEarn дозволяє візуалізувати процеси, які є невидимими для людського ока, занадто швидкими, повільними або небезпечними для реального спостереження. Студент може в доповненій реальності спостерігати за процесом фотосинтезу на клітинному рівні, візуалізувати силові лінії магнітного поля навколо провідника зі струмом тощо, змінюючи їхні параметри в реальному часі.

4. Віртуальні лабораторні роботи в AR. Цей модуль надає можливість проводити безпечні та економічно ефективні лабораторні експерименти. Студенти можуть, наприклад, проводити хімічні реакції титрування, не ризикуючи розлити реактиви, збирати електричні кола, не боячись короткого замикання, або тестувати закони механіки на віртуальних об'єктах.

5. Конструктор AR-сцен для викладачів. Це ключова особливість, що перетворює VisualEarn з простого переглядача контенту на гнучку освітню платформу. Викладачі отримують доступ до вебінтерфейсу, де вони можуть завантажувати власні 3D-моделі (у форматах .fbx, .obj), створювати до них анотації та анімації, а потім прив'язувати їх до зображень-маркерів зі своїх лекційних матеріалів чи підручників.

Основою платформи VisualEarn є нативні фреймворки ARKit від Apple (для iOS) та ARCore від Google (для Android). Вони забезпечують виконання ключових завдань: відстеження руху пристрою в просторі (SLAM), розпізнавання горизонтальних та вертикальних поверхонь, а також оцінку рівня освітленості для реалістичної інтеграції віртуальних об'єктів. Для розпізнавання маркерів використовуються вбудовані бібліотеки комп'ютерного зору (Computer Vision).

Розробка ведеться на базі ігрового рушія Unity. Цей вибір обґрунтований його потужними можливостями для роботи з 3D-графікою в реальному часі, вбудованою системою анімації, фізичним рушієм та, що найважливіше, можливістю компіляції проєкту під обидві мобільні платформи з єдиної кодової бази, що значно прискорює та здешевлює розробку.

Процес створення навчальних моделей включає етапи моделювання, текстурвання, ригінгу та анімації з використанням професійного ПЗ (Blender, Autodesk Maya). Особлива увага приділяється оптимізації моделей: зменшенню кількості полігонів та розміру текстур для забезпечення плавної роботи застосунку навіть на пристроях середнього цінового сегмента.

Для зберігання бібліотеки 3D-моделей, маркерів, анімацій та користувацьких сцен використовується хмарне сховище (наприклад, Amazon S3 або Google Cloud Storage). Це дозволяє динамічно завантажувати контент за запитом, зменшуючи початковий розмір застосунку, а також централізовано оновлювати та доповнювати навчальну базу без необхідності випускати нову версію програми в App Store та Google Play.

Інтерфейс застосунку проєктується з урахуванням принципів мінімалізму та інтуїтивності. Управління об'єктами здійснюється за допомогою звичних мобільних жестів (дотик, перетягування, масштабування двома пальцями).

Таким чином, розроблена платформа VisualEarn є комплексним рішенням, що використовує передові можливості доповненої реальності для трансформації освітнього процесу. На відміну від існуючих аналогів, вона пропонує універсальний та гнучкий інструментарій як для студентів, так і для викладачів, сприяючи глибокому концептуальному розумінню матеріалу, підвищенню залученості та розвитку просторового мислення.

Перспективи подальшого розвитку проєкту включають: інтеграцію з системами управління навчанням (LMS), такими як Moodle, для автоматичного підвантаження AR-контенту до курсів; розробку багатокористувацького режиму для спільної роботи над AR-сценами в одній аудиторії; впровадження елементів штучного інтелекту для надання персоналізованих підказок та адаптації складності симуляцій під рівень знань студента.

SECURITY

[СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ БЕЗПЕКИ]



ВПЛИВ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ НА РІВЕНЬ КІБЕРБЕЗПЕКИ ВЕБЗАСТОСУНКІВ

Гринь Дар'я Андріївна, здобувач вищої освіти, daria.hryn@student.karazin.ua¹

Макарова Ганна Валеріївна, доцент, канд. фіз.-мат. наук,
доцент кафедри інформаційних технологій та математичного моделювання,
anna.mak2201@gmail.com¹

¹ ННІ «Каразінський банківський інститут» ХНУ імені В.Н. Каразіна

Розвиток цифрових технологій, зокрема фінансових сервісів і вебзастосунків, супроводжується не лише зростанням рівня комфорту для користувачів, а й підвищенням кіберризиків. З кожним роком збільшується кількість атак, спрямованих на викрадення персональних і фінансових даних, що зумовлює потребу у нових підходах до забезпечення інформаційної безпеки. Традиційні методи захисту, орієнтовані переважно на технічні рішення, уже не є достатніми, оскільки значну роль у збереженні безпеки відіграє людський фактор. Досвід показує, що навіть найскладніші системи можуть бути скомпрометовані через необережні або помилкові дії користувачів. Саме тому актуальним стає дослідження впливу користувацького досвіду на рівень кібербезпеки вебзастосунків.

Користувацький досвід (User Experience, UX) визначає сприйняття, емоції та поведінку користувача під час взаємодії із цифровою системою. Вебзастосунок із якісним UX забезпечує простоту, логічність і передбачуваність дій, що безпосередньо впливає на рівень безпеки. Якщо інтерфейс надто складний, незрозумілий або вимагає надмірних дій для виконання елементарних операцій, користувач часто прагне обійти передбачені заходи безпеки. Це може проявлятися у створенні слабких паролів, повторному використанні одного пароля для різних сервісів, вимкненні двофакторної автентифікації тощо. Таким чином, UX-дизайн виступає одним із критичних факторів формування безпечної поведінки користувача.

Концепція *usable security* (зручної безпеки) передбачає, що системи кіберзахисту мають бути не лише надійними, але й комфортними у використанні. Зручність сприйняття безпекових функцій підвищує ймовірність того, що користувачі дотримуватимуться правил безпеки. Наприклад, зрозумілі підказки під час створення пароля («сильний пароль», «додайте цифру або символ») мотивують користувача створювати надійні комбінації без примусу. Аналогічно, інтуїтивна реалізація двофакторної автентифікації – через push-повідомлення або біометричні дані – спрощує взаємодію з системою без шкоди для рівня захисту.

Важливо також враховувати емоційний аспект взаємодії. UX, побудований на принципах довіри, прозорості та передбачуваності, знижує рівень тривоги користувача і підвищує його лояльність. Коли користувач розуміє, чому система вимагає певних дій (наприклад, повторного підтвердження операції або оновлення пароля), він сприймає ці дії як частину турботи про власну безпеку, а не як перешкоду. Відповідно, поведінка користувача стає більш відповідальною, що позитивно впливає на загальний рівень кіберзахисту.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність інтеграції принципів UX у процес забезпечення безпеки. Компанії Google, Apple, Microsoft, Revolut та інші фінтех-платформи впроваджують комплексні підходи до поєднання безпеки та зручності. Їхні рішення включають автоматичне виявлення підозрілих дій, просту автентифікацію через біометрію, наочні повідомлення про ризики та адаптивні системи попередження. Українські приклади, такі як Monobank і Приват24, також демонструють успішну реалізацію принципів *usable security*: підтвердження транзакцій через push-сповіщення, можливість блокування картки одним натисканням, інтерактивні поради щодо фінансової безпеки.

Таким чином, користувацький досвід безпосередньо впливає на рівень кібербезпеки вебзастосунків. Продуманий UX-дизайн допомагає зменшити кількість помилок користувачів, підвищує їхню обізнаність щодо ризиків і мотивує дотримуватись правил безпечної поведінки.

З іншого боку, нехтування принципами зручності у проєктуванні інтерфейсів може призвести до протилежного ефекту – користувачі спрощуватимуть свої дії, що створює додаткові вразливості.

Поєднання зручності та безпеки не є суперечливими цілями – навпаки, вони взаємодоповнюють одна одну. Інтеграція принципів UX-дизайну у процес розроблення вебзастосунків дозволяє створювати не лише функціональні, але й безпечні системи, орієнтовані на потреби людини. Подальші дослідження у цій сфері доцільно спрямувати на формування методик оцінювання рівня «зручної безпеки» у фінансових вебзастосунках та розробку рекомендацій для UX-дизайнерів і розробників щодо створення інтерфейсів, які одночасно забезпечують високу зручність і максимальний захист даних.

Список використаних джерел

1. Кібербезпека та UX: мистецтво балансу [Електронний ресурс]. – UX Republic, 2024. – Режим доступу: <https://www.ux-republic.com/uk/кібербезпека-та-ux-мистецтво-балансу> / (дата звернення: 15.11.2025).
2. Тимко В. О. Людський фактор в інформаційній безпеці / В. О. Тимко // Авіація, промисловість, суспільство. – 2023. – Режим доступу: <https://dspace.univd.edu.ua/items/947414d9-ccf8-49aa-9420-b3b1f909a5c8> (дата звернення: 15.11.2025).
3. Читулян В., Олейніков І., Ананченко О., Дзюба В. WEB-програмування і мобільна розробка: UX/UI-рішення для захисту персональних даних користувачів // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – 2025. – № 2(30). <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.30.992>

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИМИ ІДЕНТИЧНОСТЯМИ НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СМАРТ КОНТРАКТІВ ТА IPFS

Побережник Василь Олегович, аспірант кафедри захисту інформації,
vasyl.poberezhnyk@lpnu.ua¹

Опірський Іван Романович, докт. техн. наук., професор,
завідувач кафедри захисту інформації ivan.r.opirskyi@lpnu.ua¹

¹ Національний Університет «Львівська політехніка», м. Львів

Сьогодення потребує великого об'єму обміну інформацією, оскільки практично кожен сервіс, система чи користувачі постійно взаємодіють між собою. Одним із важливих аспектів такої взаємодії є передача облікових даних користувачів, персональних даних, тощо. Традиційний підхід, який застосовують для керування такою інформацією, передбачає опору на централізовані системи, які забезпечують їхню обробку. Такий підхід наділяє системи обробки облікових даних неабиякими можливостями, оскільки ці системи є фактично одноосібними розпорядниками даних. Такий підхід до забезпечення обробки облікових даних має вагомий недолік – централізовану точку вразливості, оскільки всі дані обробляються однією системою, то вихід з ладу системи призведе до зупинки процесу обробки облікових даних, що негативно впливатиме на можливість використання залежних від облікових даних систем, якщо взагалі не уможливить їх. Також скупчення великого об'єму облікових даних, які часто містять в собі персональні дані користувачів, може спричинити витік персональних даних, що вже несе загрозу не лише доступності інформації, яка обробляється системами керування обліковими даними, але й несе уже загрозу приватності чи анонімності самих користувачів, які довірили свої дані системі. Прикладом такого витоку даних був випадок із компанією Meta, на той момент Facebook, коли у 2018 році через несанкціоновану передачу даних було розповсюджено персональні дані 50 мільйонів користувачів [1]. Іншим можливим випадком витоку персональних даних був витік із державних реєстрів у 2022 році [2], або ж витік даних облікових записів компанії Mastercard [3], коли в мережу витекла інформація про близько 90

тисяч користувачів. Очевидно, що такі витoki стаються регулярно, бо кількість користувачів різних систем, а з ними і кількість різних облікових записів тільки росте, тому такі витoki будуть траплятися і надалі.

Вирішенням проблеми витоків облікових даних може стати застосування нового підходу до збереження і керування такими даними – застосуванням децентралізації. Основна ідея такого підходу полягає в тому, що безпека користувачів покладається на підхід, який передбачає застосування розподілених, децентралізованих систем для збереження та передачі даних та поєднання їх анонімними ідентифікаторами, які не можуть вказати на особу прямо чи опосередковано. Наприклад, в Європейському Союзі уже існує практика застосування децентралізованих ідентифікаторів побудованих на застосування блокчейн, яка дозволяє користувачу отримувати доступ до ресурсів без застосування персональних даних, для створення облікових даних [4]. Ба більше, застосування асиметричної криптографії, яка є одним із ключових механізмів блокчейн, дозволяє захистити облікові дані від викрадення, оскільки виділити приватний ключ із публічного практично неможливо.

Попри те, що така технологія дає можливість користувачам самостійно керувати своїми обліковими даними, надавати доступ до них тощо, існує кілька недоліків, які характерні для децентралізованих ідентичностей: низький рівень стандартизації, складність у зміні облікових даних, можлива висока вартість зміни даних тощо.

Низький рівень стандартизації полягає в тому, що хоча й існує загальний стандарт в якому описується вимоги до вигляду документу [5], але він радше є рекомендованим [6], ніж обов'язковим, також різноманітні реалізації [7] стоять на заваді можливості реалізації ідентичності, яка буде мати універсальне використання. Проблема полягає в тому, що різні реалізації потребують застосування різних методів верифікації даних, розробки додаткових протоколів для забезпечення сумісності тощо. Це зумовлено тим, що такі методи використовують різні технології, що впроваджує додаткові виклики до одночасного застосування кількох типів таких методів.

Іншою, не менш важливою, проблемою є те, що створені ідентифікатори тяжко піддаються змінам, тобто розширення властивостей ідентичності є тяжким для реалізації або ресурсозатратним, а в деяких випадках – практично неможливим. Це зумовлено тим, що такі методи як ethr чи btcr опираються на застосування технологій смарт-контрактів та блокчейн [8], а як відомо, однією із характеристик блокчейну є його незмінність, що фактично забороняє будь-яке модифікування збереженої в ньому інформації, отже практично унеможливило редагування збереженої інформації про ідентичність.

Ситуація із ethr трохи краща, оскільки смарт контракти даються можливість змінювати певні типи інформації, яку вони обробляються, однак такі зміни є небажаними через великі затрати ресурсів, які для цього потрібні, а також суперечить самій парадигмі смарт контрактів, основною ідеєю якої є те, що код смарт контракту повинен бути сталим.

Окрім згаданих недоліків, також варто зважати на те, що при роботі із методами орієнтованими на застосування блокчейн і смарт контрактів будь-які зміни потребують відносно значних фінансових витрат, оскільки обробка даних, проведення транзакції, смарт контрактом, потребує плати за використання – так званого gas fee.

Шляхом вирішення проблеми внесення змін у ідентичності може стати застосування підходу, який передбачає використання IPFS [9] як носія інформації про ідентичність, IPNS [10] як вказівника на актуальну версію інформації в системі IPNS та смарт контрактів, як механізму забезпечення достовірності в такій системі. При такому підході смарт контракт забезпечує автентичність ідентичності через прив'язку вказівника IPNS. Застосування IPNS є необхідним, оскільки будь-які зміни у даних, що зберігаються у IPFS, призводять до зміни ідентифікатора даних, відповідно додавання будь-якої нової інформації у вже існуючий запис про ідентичність призведе до створення нового ідентифікатора, яка за замовчування буде вважатися ненадійним, оскільки він не прив'язаний до системи жодним способом. Цю проблему вирішує застосування IPNS, оскільки цей вказівник дозволяє створювати посилання на різні об'єкти, при цьому не змінюючи власне значення, що дозволяє утворити стійке

посилання на дані децентралізованої ідентичності, які можуть змінюватися. Отже наявність такого поєднання дозволяє встановити ідентифікатор та пов'язані з ним дані, як це відбувається у традиційних системах, однак із відмінністю в тому, що будуть надаватися переваги децентралізації.

Наступним кроком є зберігання такого ідентифікатора за допомогою смарт контрактів, що дозволить прив'язати ідентифікатор до блокчейн, а також надасть можливість забезпечити перевірку автентичності даних. Такого ефекту можна досягти, наприклад, через збереження даних про децентралізовану ідентичність в мережу блокчейн. На рисунку 1 зображено концепцію такої системи.

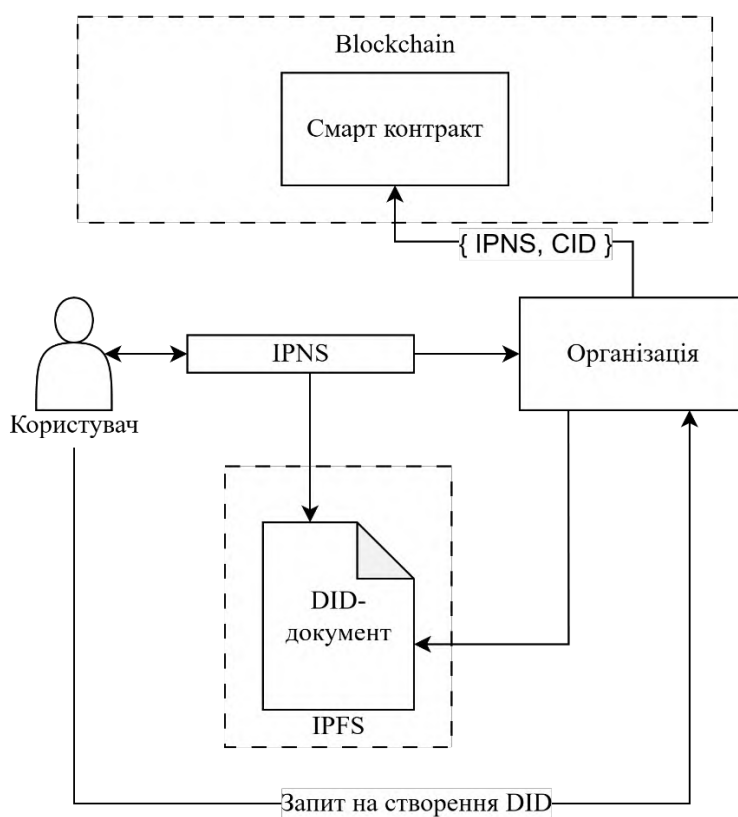


Рисунок 1 – Концепція системи.

Як видно зі схеми, в мережі блокчейн зберігається інформація про те, що ідентифікатор був випущений уповноваженою установою і переданий переданий в управління користувачу, а дані про ідентифікатор були записані в мережу блокчейн.

Алгоритм роботи пропонованої системи наступний:

1. Користувач надсилає запит на створення децентралізованих облікових даних та IPNS-ідентифікатор.
2. Організація записує необхідні дані в DID-документ у IPFS та передає пару IPNS-CID у смарт контракт.
3. Користувач оновлює посилання IPNS, щоб воно вказувало на оновлений чи створений документ-DID.
4. При потребі доступу до організації, користувач передає IPNS-ідентифікатор.
5. Організація перевіряє відповідність DID-документа тому, що збережений у блокчейн шляхом порівняння відбитків.
6. Якщо відбитки збігаються, то користувач вважається справжнім, якщо ні – відбувається відмова у доступі.

З цього видно, що безпека такого методу покладається на порівняння відбитків даних, у випадку із IPFS – це CID, ідентифікатор даних у IPFS. Також в смарт контракті зберігаються не

самі дані децентралізованої ідентичності, а пара значень IPNS-ідентифікатор і ідентифікатор даних в IPFS, це дозволить пересвідчитися в тому, що IPNS-ідентифікатор вказує саме на ті дані, які були створені організацією і є достовірними, що дозволяє знизити навантаження на блокчейн та оптимізувати його роботу, оскільки він не призначений для збереження відносно великих даних. Окрім того, смарт контракти дозволяють впровадження будь-якої логіки, яку можна запрограмувати із їхнім використанням, тому це дозволяє не лише створювати нові прив'язані відбитки ідентифікаторів, але й керувати тими, що уже існують, наприклад, оновлювати пари через створення нових записів, де буде змінювати ідентифікатор даних в IPFS, або, наприклад, забороняти доступ до сервісів організації, якщо авторизація виконується через смарт контракти.

Перевагою такого підходу є те, що вона базується на застосуванні технологій, які є децентралізованими за замовчуванням, що дозволяє отримати стійкість інформації до втрати доступності, а прив'язка відбитків даних до мережі блокчейн і застосування ідентифікаторів даних на основі хешування, дозволяє додати стійкість до несанкціонованих змін, що також може підвищувати рівень довіри до самих даних.

Такий підхід дозволить забезпечити існування моделі децентралізованих ідентичностей, яка дозволить забезпечувати зміни в даних без необхідності створення нової ідентичності через застосування вказівника на дані, які зберігаються в IPFS.

Втім, попри переваги децентралізованих ідентичностей, не варто забувати про недоліки. Наприклад, адресація через IPNS опирається на DHT – розподілені хеш-таблиці, основним недоліком яких є те, що вони мають лімітований час існування записів, за замовчуванням 48 години, після цього дані вибувають з таблиць. Такий підхід обраний для того, щоб забезпечити існування таблиці із актуальними даними. Для того, щоб забезпечити постійне існування раніше створеного ідентифікатора IPNS необхідно, щоб цей ідентифікатор періодично публікувався в мережі, тобто необхідно, щоб завжди був в мережі хоча б один вузол, який знає цей ідентифікатор і періодично публікує його в таблиці.

Окрім цього, застосування таких технологій, може мати й інші недоліки зокрема це може бути проблема довіри до технологій, оскільки вона відносно нова, а також потреба розгортання інфраструктури для забезпечення роботи такого методу, оскільки така система може потребувати розгортання додаткової інфраструктури, як от блокчейн та IPFS, а також пошуку шляхів інтеграції цих технологій та самої пропонованої концепції в уже існуючу інфраструктуру, що може стати доволі нетривіальним завданням.

Втім, зважаючи на переваги методу, зокрема застосування технологій, які є децентралізованими за своєю природою і цим самим забезпечують цілісність та достовірність даних, дозволяє розглядати концепцію як перспективну, але для її застосування на практиці, вона потребує подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Confessore N. Cambridge analytica and facebook: the scandal and the fallout so far. *The New York Times*. URL: <https://www.nytimes.com/2018/04/04/us/politics/cambridge-analytica-scandal-fallout.html> (дата звернення: 12.11.2025).
2. Сабадишина Ю. Нові деталі кібератаки та нібито зливу даних з «Дії». П'ятеро з шести обвинувачених – співробітники російської розвідки. *Спільнота програмістів | DOU*. URL: <https://dou.ua/lenta/news/diia-data-leak-details/> (дата звернення: 12.11.2025).
3. DER SPIEGEL. Mastercard: datenleck bei bonusprogramm. *DER SPIEGEL | Online-Nachrichten*. URL: <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/mastercard-datenleck-bei-bonusprogramm-a-1282697.html> (дата звернення: 12.11.2025).
4. Understanding EBSI's Blockchain Ecosystem | EBSI hub. *EBSI hub*. URL: <https://hub.ebsi.eu/blockchain> (дата звернення: 12.11.2025).
5. Decentralized identity: where did it come from and where is it going? / O. Avellaneda та ін. *IEEE communications standards magazine*. 2019. Т. 3, № 4. С. 10–13. URL: <https://doi.org/10.1109/mcomstd.2019.9031542> (дата звернення: 12.11.2025).
6. Decentralized identifiers (dids) v1.0 / M. Sporny та ін. *w3.org*. URL: <https://www.w3.org/TR/2022/REC-did-core-20220719/> (дата звернення: 12.11.2025).

7. Dib O., Toumi K. Decentralized identity systems: architecture, challenges, solutions and future directions. *Annals of emerging technologies in computing*. 2020. Vol. 4, no. 5. P. 19–40. URL: <https://doi.org/10.33166/aetic.2020.05.002> (date of access: 12.11.2025).

8. Methods for decentralized identities: evaluation and insights / W. Fdhila та ін. *Lecture notes in business information processing*. Cham, 2021. С. 119–135. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85867-4_9 (дата звернення: 12.11.2025).

9. What is IPFS? | IPFS Docs. *IPFS Documentation* | *IPFS Docs*. URL: <https://docs.ipfs.tech/concepts/what-is-ipfs/> (дата звернення: 12.11.2025).

10. IPNS (interplanetary name system) | IPFS docs. *IPFS Documentation* | *IPFS Docs*. URL: <https://docs.ipfs.tech/concepts/ipns/> (дата звернення: 12.11.2025).

МЕТОДИ ГЕНЕРАЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРНАПАДІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Проніна Ольга Ігорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, pronina_o_i@pstu.edu¹,

Рейжевський Михайло Ігорович, студент групи КН-24-М, reizhevskiy_m_i@students.pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У сучасному світі кібербезпека займає центральне місце у впровадженні інформаційних технологій у повсякденне життя та бізнес-процеси [1]. Одним із ключових завдань фахівців із безпеки є розуміння різновидів кібер-атак. Тож створення достовірних синтетичних та реальних вибірок (датасетів) для досліджень, навчання моделей виявлення та тестування захисту є актуальним практичним завданням.

Існує велика кількість типів кібератак серед найпоширеніших можна виділити [2]: мережеві атаки, атаки на доступ і аутентифікацію, фішинг та інші соціальні інженерні атаки, шкідливе програмне забезпечення, атаки на конфіденційність та цілісність даних, експлуатація вразливостей, перешкоди на фізичному рівні та атаки на ланцюг постачання. Для кожного типу атак необхідно навчити модель вирізняти цей тип. Тому дуже важливим етапом є навчання детекторів, IDS/IPS, моделей машинного навчання та проведення червоно-блакитних командних вправ [3], для яких потрібні набори даних, які містять як нормальний («безпечний») трафік, так і зразки атак. Ретельно згенеровані симуляції дозволяють контролювати співвідношення класів, складність атак і етапи життєвого циклу атаки (кількість пакетів, тривалість, варіації), що полегшує оцінку чутливості системи та метрик якості.

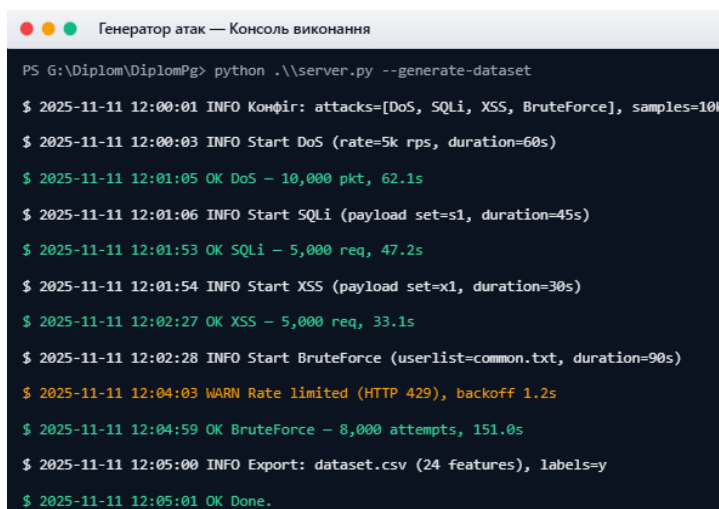
Метою роботи було сформувати збалансовану вибірку мережевих запитів та подій, що містить як легітимний трафік, так і різні типи атак (DoS, SQLi, XSS, Brute Force), для подальшого навчання моделі виявлення вторгнень. Розробка додатку виконувалась на мові програмування Python 3.11, ключові бібліотеки: requests (імітація HTTP-запитів), scrapy (низькорівнева мережа, пакетні патерни DoS), asyncio/aiohttp (паралелізація), pandas (експорт вибірки), numpy (агрегації/ознаки). Реалізація сценарію генерації трафіку для кожного класу виконувалась наступним чином: для легітимного трафіку GET/POST до основних ендпойнтів, правдоподібні заголовки та інтервали; DoS – висока частота запитів із контрольованою інтенсивністю, варіації User-Agent/IP; SQLi – ін'єкції у параметри рядка запиту та форм (типові пейлоади: ' OR '1'='1, UNION SELECT тощо); XSS – відправка скриптових фрагментів у полях вводу/параметрах (<script>alert(1)</script> та ін.); Brute Force – перебір паролів на формі логіну з обмеженням швидкості. Також було проведено агрегування ознаки на рівні подій і коротких вікон часу (RPS, ентропія, частка помилок 4xx/5xx), після чого згенерована вибірка була експортована у CSV/Parquet зі збереженням міток класу для навчання. В таблиці 1 наведені орієнтовні заміри для набору ~10 тис. подій/запитів на локальному стенді.

Таблиця 1 – Заміри генерації атак відносно часу

Клас	Конфігурація	Кількість	Час, с
DoS	rate $\approx$ 5k rps, 60s	$\approx$ 10 000 пакетів	$\sim$ 62
SQLi	payload set, s1	$\approx$ 5 000 запитів	$\sim$ 47
XSS	payload set s1	$\approx$ 5 000 запитів	$\sim$ 33
Brute Force	userlist=common.txt	$\approx$ 8 000 спроб	$\sim$ 151 (із backoff)

Отримані результати демонструють, що час генерації трафіку різних типів атак суттєво залежить як від обраної конфігурації сценаріїв, так і від апаратних характеристик локального стенду та можливостей цільового сервера. DoS-сценарій виявився найбільш ресурсомістким, оскільки потребує підтримання високої інтенсивності пакетів та паралельної обробки великої кількості з'єднань. SQL-ін'єкції та XSS-атаки формуються значно швидше, адже характеризуються меншим навантаженням на мережевий стек, проте потребують відтворення широкого набору пейлоадів. Найповільнішим виявився Brute Force через велику кількість послідовних спроб аутентифікації та застосування механізму backoff, що моделює реалістичні захисні обмеження сервера.

На рисунку 1 наведено приклад запуску генерації з наступними параметрами: samples 10000, attacks DoS, SQLi, XSS, BruteForce.



```

PS G:\Diplom\DiplomPg> python .\server.py --generate-dataset
$ 2025-11-11 12:00:01 INFO Конфіг: attacks=[DoS, SQLi, XSS, BruteForce], samples=10k
$ 2025-11-11 12:00:03 INFO Start DoS (rate=5k rps, duration=60s)
$ 2025-11-11 12:01:05 OK DoS - 10,000 pkt, 62.1s
$ 2025-11-11 12:01:06 INFO Start SQLi (payload set=s1, duration=45s)
$ 2025-11-11 12:01:53 OK SQLi - 5,000 req, 47.2s
$ 2025-11-11 12:01:54 INFO Start XSS (payload set=x1, duration=30s)
$ 2025-11-11 12:02:27 OK XSS - 5,000 req, 33.1s
$ 2025-11-11 12:02:28 INFO Start BruteForce (userlist=common.txt, duration=90s)
$ 2025-11-11 12:04:03 WARN Rate limited (HTTP 429), backoff 1.2s
$ 2025-11-11 12:04:59 OK BruteForce - 8,000 attempts, 151.0s
$ 2025-11-11 12:05:00 INFO Export: dataset.csv (24 features), labels=y
$ 2025-11-11 12:05:01 OK Done.
  
```

Рисунок 1 – Приклад генерування атак через консоль

Після етапу генерації даних виконувалась повна післяобробка вибірки: було усунуто дублікати, відфільтровано некоректні або неповні записи, а також проведено балансування класів за допомогою undersampling або oversampling, щоб уникнути зміщення моделі у бік більш представлених подій. Далі вибірку розділили на train, validation та test у пропорції 70/15/15 із випадковим перемішуванням для збереження репрезентативності. У результаті сформовано структурований та збалансований набір даних, що містить повний спектр легітимного трафіку та основних типів атак, має чітко визначені ознаки та повністю готовий для інтеграції у пайплайн навчання моделей виявлення вторгнень.

У ході роботи було реалізовано повний цикл формування синтетичної та частково емпіричної вибірки мережевого трафіку, що включає як легітимні звернення, так і найбільш поширені типи атак: DoS, SQL-ін'єкції, XSS та Brute Force. Ретельне моделювання кожного класу дозволило відтворити реалістичний сценарій мережевої активності, максимально наближений до умов реальних інфраструктур. Особливу увагу було приділено налаштуванню параметрів генерації – інтенсивності DoS-трафіку, варіативності пейлоадів для SQLi/XSS, а також реалізації механізмів уповільнення (backoff) для моделювання поведінки серверів під час масового підбору паролів. Зібрані заміри часу продемонстрували суттєву різницю у складності та ресурсомісткості кожного типу атаки, що є важливим орієнтиром для подальшого аналізу навантаження та моделювання.

Список використаних джерел

1. Cybersecurity For Dummies For Dummies Computer Tech. – Режим доступ: <https://www.scribd.com/document/853903949/cybersecurity-for-dummies-for-dummies-computer-tech>
2. Shree R, Vidya. (2025). Detection of Cyber Attacks using Artificial Intelligence. 10.15680/IJRSET.2025.1405370|.
3. Ang, Sokroern & Huy, Sopheakra & Janarthanan, Midhunchakkaravarthy. (2025). Utilizing IDS and IPS to Improve Cybersecurity Monitoring Process. Journal of Cyber Security and Risk Auditing. 2025. 77-88. 10.63180/jcsra.thestap.2025.3.10.

СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВТРУЧАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ КЛАСИФІКАЦІЇ

Чичкарьов Євген Анатолійович, професор, докт. техн. наук, професор кафедри інформатики, chychkarovea@gmail.com¹
¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Системи виявлення вторгнень (Intrusion Detection Systems, IDS) на основі аналізу мережевого трафіку (Network-based Intrusion Detection Systems, NIDS) є критично важливим компонентом кібербезпеки. Їхнє основне завдання – моніторинг мережевого трафіку в режимі реального часу, аналіз пакетів даних на наявність аномалій, відомих сигнатур атак або порушень політики безпеки, та повідомлення про підозрілу активність.

Використання методів глибокого навчання для систем виявлення вторгнень – це активно досліджувана галузь, яка пропонує значні переваги перед традиційними сигнатурними та евристичними методами. Такі моделі здатні автоматично вивчати складні, нелінійні патерни в мережевому трафіку, що критично важливо для виявлення нових (Zero-Day) та складних, прихованих атак.

При аналізі літературних джерел встановлено, що використовують переважно три основні типи архітектур нейронних мереж глибокого навчання, залежно від типу даних і завдання [1-3]:

- багатосарові перцептрони (MLP), які ефективні для мультикласової та бінарної класифікації, але їхня продуктивність сильно залежить від якості попередньої обробки та вибору ознак (feature selection);
- згорткові нейронні мережі (CNN), які використовуються, коли мережеві дані (наприклад, сирі байти пакетів або знімки трафіку) розглядаються як зображення або двовимірні дані;
- рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM, GRU), які використовуються для аналізу послідовностей (мережеві сесії, послідовність подій у часі).

Ця робота присвячена дослідженню технології виявлення вторгнень за допомогою моделі глибокого навчання, яка може класифікувати різні типи атак. Проаналізовано навчання моделей класифікації наборів даних KDDCup99, NSL-KDD, UNSW-NB15, IDS 2018 та IDS2017.

Наприклад, датасет KDD99 містить близько 4.9 мільйона записів мережевих з'єднань. Кожен запис має 41 ознаку та один маркер класифікації. При завантаженні та попередній обробці було виконано масштабування числових стовпців (наприклад, тривалості, кількості байтів) до діапазону від 0 до 1, використовуючи MinMaxScaler, а також кодування категоріальних ознак за допомогою One-Hot Encoding або Label Encoding, оскільки нейронні мережі працюють лише з числами. В загальному випадку KDD99 має 22 типи атак (DoS, Probe, R2L, U2R) та нормальний трафік. Для бінарної класифікації (найпростіший випадок) всі типи атак об'єднуються в один клас "Атака" (1), а нормальний трафік – у "Норма" (0). Для мультикласової класифікації кожен із 5 основних класів (Normal, DoS, Probe, R2L, U2R) кодується окремо [4].

Для інших наборів даних при попередньої обробці виконувались аналогічні операції.

Зокрема, набір даних CICIDS2017 містить 88 ознак, що описують мережевий потік, а не лише окремий пакет [5-6]. Оскільки CICIDS2017 є чистішим, ніж KDD99, було виконано наступні кроки підготовки:

1. обробка нескінченних та NaN-значень (набір даних містить нескінченні значення (Infinity) та "Not a Number" (NaN), які необхідно замінити, наприклад, нулями або середнім значенням);

2. масштабування числових ознак – необхідно нормалізувати (наприклад, StandardScaler або MinMaxScaler) всі 88 числових ознак, оскільки нейронні мережі чутливі до діапазонів значень;

3. кодування класу – CICIDS2017 має 14 різних класів (різні типи атак та BENIGN – нормальний трафік);

- бінарна класифікація – BENIGN (0) проти всіх інших атак (1);

- мультикласова класифікація – кожен із 14 класів кодується за допомогою One-Hot Encoding для вихідного шару моделі.

Навчальні і тестові підмножини з цих наборів даних мали змінну кількість ознак, які було обрано за допомогою статистичних тестів.

Для побудови нейронних мереж був використаний пакет tensorflow з інтерфейсом keras. TensorFlow – фреймворк машинного навчання з відкритим кодом, розроблений Google. Незважаючи на те, що TensorFlow можна запускати на різних типах апаратного забезпечення, включаючи процесори, однією з його найбільших переваг є його сумісність із графічними процесорами. Інтеграція TensorFlow із графічними процесорами забезпечує значні переваги щодо швидкості та продуктивності. TensorFlow може прискорити процеси навчання та висновків, використовуючи потужність паралельних обчислень графічних процесорів, скорочуючи час, необхідний для створення та розгортання моделей. Однією з ключових переваг TensorFlow GPU є його здатність обробляти великомасштабні набори даних.

Зменшення кількості ознак на усіх наборах даних впливає на точність оцінювання відповідно до критерію середнього зменшення помилок класифікації. Поки група ознак в наборі даних для навчання містить перші за списком ознаки з найбільшим впливом, точність моделі знаходиться на початковому рівні, але при виключенні з моделі хоча б однієї з ознак з великим впливом, точність моделі стрибкоподібно знижується. Але кількість ознак слабо вплинула на час навчання моделі. Істотний вплив на час навчання моделі мала лише кількість спостережень у наборі даних.

При використанні моделі MLP досягнуті показники точності залежали як від кількості прихованих шарів, так і від кількості нейронів в шарі. Зростання глибини мережі і кількості нейронів призводить до покращення точності моделі.

Найбільший вплив на час навчання моделі зробило розпаралелювання обчислень. Тестування було виконано на комп'ютері з графічним прискорювачем (Intel i5, nVidia GeForce), або в середовищі Google Colaboratory. Встановлено, що прийнятна швидкість навчання на повному наборі даних IDS 2018 або IDS2017 досягається лише при використанні графічного прискорювача.

Список використаних джерел

1. Chuan-long, Yin & Yue-fei, Zhu & Jin-long, Fei & Xin-zheng, He. (2017). A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2017.2762418..
2. Varaprasad, Rachagolla & A, Prabhu & M, Veerasha. (2024). A Comprehensive Analysis of Intrusion Detection System using Machine Learning and Deep Learning Algorithms. 1-5. 10.1109/IACIS61494.2024.10721636.
3. Sharafaldin, Iman & Habibi Lashkari, Arash & Ghorbani, Ali. (2018). Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization. 108-116. 10.5220/0006639801080116..
4. Tanimu, Jesse & Hamada, Mohamed & Robert, Patience & Mahendran, Anand. (2022). Network Intrusion Detection System Using Deep Learning Method with KDD Cup'99 Dataset. 251-255. 10.1109/MCSoc57363.2022.00047.

5. Jin Kim, Nara Shin, S. Y. Jo and Sang Hyun Kim, "Method of intrusion detection using deep neural network," 2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), Jeju, 2017, pp. 313-316, doi: 10.1109/BIGCOMP.2017.7881684.
6. Shone, Nathan & Tran Nguyen, Ngoc & Vu Dinh, Phai & Shi, Qi. (2018). A Deep Learning Approach to Network Intrusion Detection. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence. 2. 41-50. 10.1109/TETCI.2017.2772792.

E-LEARNING

[ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАННЯ]



AI-DRIVEN INTERACTIVE LEARNING TOOLS FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Assit.prof. **Khrystyna Moskalova**, PhD, Head of the Department for Research and Development, kristina@metalskajezgra.hr¹,

Mario Šercer, PhD, Director, ravnatelj@metalskajezgra.hr¹,

Mirjana Jurović, MSc, Senior Associate - Department for Research and Development, mirjana@metalskajezgra.hr¹,

¹Development and Training Centre for the Metal Industry – Metal Centre Čakovec

Manufacturing base in Europe experiences a major digitalisation and decarbonisation transformation while also navigating through regional imbalance in labour productivity and innovation diffusion. EU labour productivity in 2024 grew only by 0.4% suggesting the slow competition trend, with LDRs continuing falling behind the EU average [1]. Furthermore, in 2025 over 70% of SMEs reach basic digital intensity, 45% of companies use cloud services, and only 13% of EU businesses use AI technologies [2]. These figures confirm the digital diffusion gap that directly constrains the modernisation of manufacturing plants. Thus, the challenge exists in the exploitation and scaling-up the actual skills for engineers, particularly students in Central and Eastern Europe.

The existing research (e.g. Li and Yeo [3], and Varde and Liang [4]), such as who identified the use of Artificial Intelligence (AI) as a key enabler of sustainable Additive Manufacturing (AM). It is surveyed that 64% of manufacturing firms see positive Return On Investment (ROI) from integrating use of generative AI in their production workflows, signifying the impact of AI in driving sustainable financial and strategic growth [5].

Furthermore, Nyamekye et al. [6] also highlighted the urgent need for consistent and structured AM training that will incorporate AI-powered tools and automated process monitoring to ensure quality control and efficiency of AM parts. By integrating these curriculum topics in education we will foster the growth of highly skilled T-shaped workers with a cross-disciplinary profile. This is important, since an understanding and application of AM specific subjects are needed, while being able to broadly apply the knowledge and know-how in appropriate and ethically acceptable AI tools across the AM value chain.

This includes mastering design rules, ethical use of AI tools, and competence in emerging subjects such as Topology Optimisation (TO) and Generative Design (GD). Many existing training programs overlook these aspects, or take a fragmented approach, leading to a very poor, isolated learning experience. Therefore, new program should focus on educating learners in AM-specific design principles, awareness of AI-enabled digital workflows and best practices in production setup, ensuring a deeper understanding of sustainable AM applications.

TO and GD can be effectively taught through structured active learning approaches that foster intuitive and conceptual understanding of key engineering principles. By integrating evaluative tasks where learners compare design alternatives on strength, weight, and quality, and facilitating collaborative projects using readily available materials, educational programs encourage the development of optimised solutions under defined constraints and boundary conditions. This pedagogical approach cultivates comprehensive problem-solving skills, supports technical literacy in advanced manufacturing methods, and prepares students for the proficient and ethical application of emerging technologies across the additive manufacturing value chain. The assessment of fabricated prototypes promotes critical analysis of structural integrity and efficiency, while the utilisation of software platforms like Fusion 360 allows students to independently manipulate load cases and explore the impacts of varying boundary conditions through direct interaction with design models. Figure 1 depicts joint - original model (1a), which consist of multiple separate components in the conventional configuration. However, by applying optimization and utilizing lattice structures (Figure 1b), this component can be additively manufactured as a single, monolithic part. Thereby, the need for additional time-consuming processing and the assembly of multiple parts is eliminated, while mass and total manufacturing costs are significantly reduced. Among the numerous benefits of generative

design is the potential for substantial reduction of product development time. Cloud-based algorithms can generate and test numerous iterations in parallel, thereby accelerating the design process from concept to final product. Moreover, generative design enables significant optimization of material usage, often resulting in savings ranging from 20% to 40% without compromising product functionality or structural integrity.

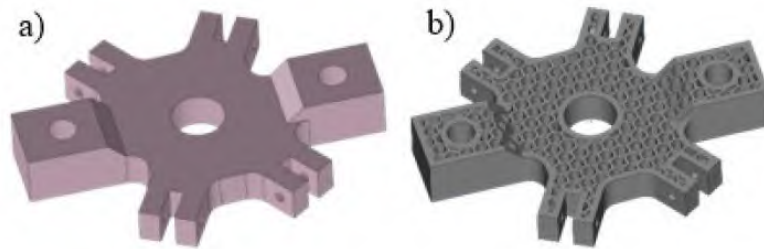


Figure 1: Joint: a) original model; b) optimized model

These activities are designed to stimulate students' curiosity regarding TO and GD, prompting a deeper analysis of how a designer evaluates structural strength and reduces weight without sacrificing integrity. Through such exercises, students gain practical insight into the advantages that TO and GD confer, while concurrently applying core concepts from mathematics, physics, and mechanics.

The essential theoretical framework for TO can be introduced through authoritative texts, such as “An Introduction to Structural Optimization” [7] and “Topology Optimization: Theory, Methods and Applications” [8]. This foundational knowledge establishes a rigorous academic basis for further exploration. The curriculum should comprehensively address the role of artificial intelligence-driven tools across the additive manufacturing (AM) process chain. This includes not only design optimization, but also business strategy, technology deployment, material selection, postprocessing procedures, and quality assurance protocols. Instruction in AI-based tools empowers learners to maximize structural performance while minimizing resource and energy consumption. The integration of AI-assisted simulations facilitates real-time validation of designs, process optimization, and in-depth sustainability assessments, enabling data-informed decision-making at every AM stage. The curriculum should also incorporate AI-enabled automation and predictive analytics within AM-related training, enhancing operational decision-making throughout the production process. Finally, advanced AI-driven analytics should be leveraged to evaluate the cost-effectiveness and economic viability of AM implementations across sectors.

GD and TO are among the most critical tools for modern industry, enabling the creation of optimal geometries based on defined requirements. The combination of AI-driven design solutions to additive manufacturing enables engineers to rapidly adapt to market trends while simultaneously supporting decentralized production systems. Therefore, such an improved syllabus, together with the implementation of AI driven software offers the students different levels of understanding of the additive manufacturing workflow, and prepares them for careers in the today's world.

References

1. Eurostat. Productivity trends using key national accounts indicators - Statistics Explained - Eurostat
2. Eurostat. Digitalisation in Europe – 2025 edition - Interactive publications - Eurostat
3. Li, T. and Yeo, J. Strengthening the sustainability of additive manufacturing through data-driven approaches and workforce development (2021) Adv. Intell. Syst., 3, 2100069.
4. Varde, A. S. and Liang, J. (2023) Machine learning approaches in agile manufacturing with recycled materials for sustainability. AAAI-2023 the 37th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AIMAT Bridge).
5. Survey report for data leaders in manufacturing: Determine your AI maturity (2024), DATAIKU. [https:// https://pages.dataiku.com/ai-today-in-manufacturing](https://pages.dataiku.com/ai-today-in-manufacturing)
6. Nyamekye P., Lakshmanan R., Tepponen V. and Westman S. (2023) Sustainability aspects of additive manufacturing: Leveraging resource efficiency via product design optimization and laser powder bed fusion. Heliyon-NCBI 10(1), e23152. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23152>

7. Christensen, P.W.; Klarbring, A. An Introduction to Structural Optimization; Springer Science & Business Media: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; Volume 153.

8. Tyflopoulos, E.; Steinert, M. Topology and parametric optimization-based design processes for lightweight structures. Appl. Sci. 2020, 10, 4496. <http://doi.org/10.3390/app10134496>

IGAMIFICATION IN E-LEARNING: ANALYSIS OF BENEFITS, CHALLENGES, AND IMPLEMENTATION TOOLS

Yevhen Koval, 2nd-year student , jeka2017koval@gmail.com ¹

Indira Renska, Senior teacher of English philology department , renska@nubip.edu.ua ¹

¹ National university of life and environmental sciences of Ukraine

The dynamic development of modern information technologies has fundamentally reshaped the educational landscape. Educational institutions are rapidly adopting complex digital infrastructures, often described as Open Electronic Scientific and Educational Systems (OESES) [3, p. 2-4]. These systems include vital tools for academia, such as electronic libraries (DSpace, Eprints), scientometric databases (Scopus, WoS), electronic open journal systems (OJS), and advanced Learning Management Systems (LMS) like Moodle [1, p. 119; 3, p. 4-5].

However, the mere existence of this powerful digital infrastructure does not guarantee its effective use. A critical challenge, as identified in contemporary research, is the «low level of information and research competence» among both staff and students, and perhaps more importantly, «low motivation» to engage with these complex systems. [3, p. 2] In my opinion, one of the main problems is that standard e-learning is passive and fails to motivate action. It is often difficult to even force oneself to listen to the material, let alone analyze or interact with it, especially with numerous external distractions and competing priorities.

Gamification is the application of game-design elements and principles in non-game contexts is a primary methodological solution to this motivational deficit. Its purpose is to leverage core psychological triggers to foster engagement and develop the crucial «information and research competence» needed to navigate these new digital learning environments. [2; 3, p. 5, 7]

When applied effectively, gamification can transform the learning experience from a passive «knowledge base accumulation» into an active process. The benefits of gamification directly address the key components of research competence identified by Spirin et al.:

Addressing the «Value-Motivational» Component: The most cited benefit of gamification is its power to enhance motivation. Traditional systems fail to address the «value-motivational» component, offering no immediate reason for engagement. By providing clear goals, badges for achievement, and leaderboards, gamification creates a sense of purpose and makes learning feel less like a chore and more like a challenge. [2; 4, p. 1111]

Developing the «Cognitive» Component: The «cognitive» component requires knowledge of what OESES are and how they function. Gamification shifts the paradigm from passive consumption to «learning by doing». This active application within a structured, game-like system leads to deeper, more durable knowledge retention. [2]

Building the «Operational-Activity» Component: This component is defined by the ability to use OESES to solve research problems. Gamification excels here by providing a «safe space to fail» [1]. In a gamified module, a student can learn to navigate a complex database (like those mentioned in) or practice using an electronic library (like Eprints) through «quests» [3, p. 3-4]. Making a mistake is not a final penalty but a necessary part of the learning process, relieving «psycho-emotional stress» [2, p. 118] and building operational confidence.

While all these benefits are significant, I believe the most important advantage is improved knowledge retention. Traditional rote memorization is often ineffective, and most of the material is quickly forgotten. Gamification makes the process more interesting, which aids memory, and more importantly, it often requires the learner to analyze information and think critically about how to use it.

Furthermore, enhanced motivation is almost equally important. Seeing the tangible results of one's efforts through achievements is a powerful driver for most people.

Challenges and Implementation Risks

Despite its potential, gamification is not a simple solution. Naive implementation can be ineffective or even detrimental to learning.

«Pointification» vs. Meaningful Gamification : A common pitfall is the shallow application of game mechanics. Simply adding points and badges to a poorly designed, boring course does not make it engaging. The game elements must be deeply and meaningfully integrated with the pedagogical objectives. [1, p. 117-118]

The Debate on Extrinsic vs. Intrinsic Motivation: A significant academic debate surrounds the use of rewards. Many gamified systems rely heavily on extrinsic motivators (badges, points). The risk is that students become motivated only by these rewards, not by the intrinsic desire to learn. This could undermine the long-term, «value-motivational» competence that is crucial for lifelong learning. However, a counter-argument holds that extrinsic rewards are an effective «hook» to draw in unmotivated learners, who may then develop intrinsic interest once they feel a sense of mastery and progress. [4, p. 1111-1112]

Poor Design and Complexity: Effective gamification requires a careful balance of mechanics (rules), dynamics (user behavior), and aesthetics (emotional response). In my view, the most serious challenge is poor design. It is incredibly difficult to balance this system correctly. Often, it either becomes too much of a game, distracting from the learning objectives, or it is implemented as small, disconnected parts, while the majority of the course remains a standard, non-engaging experience.

Integrating Gamification within OESES: Tools and Mechanics

Gamification does not replace the OESES infrastructure; it acts as an engagement layer on top of it. The tools of gamification can be directly mapped onto the systems described by Spirin et al.

Basic Mechanics (The PBL Triad): These are the most common elements:

- Points (P): Used for tracking progress and rewarding effort.
 - Badges (B): Serve as visual «trophies» that signify the mastery of a skill (e.g., «Adept Researcher» badge for finding 10 articles in the e-library).
 - Leaderboards (L): Foster friendly competition and social motivation. [4, p. 1110-1113]
- Advanced Elements (Dynamics and Aesthetics): More complex systems incorporate:
- Narratives (Storytelling): Weaving a story into the course (e.g., «You are a detective solving a research problem») provides powerful context. This was seen in the «Masquerade in Our City» case study, which used roles and narratives to stimulate motivation. [1, p.124]
 - Quests and Challenges: Reframing «homework» as «quests» (like the «Time/Space Travel» test-quest) changes the student's perception from a chore to an objective. A quest could be: «Use the OJS platform to review a mock article submission». [1, p.121]

–Progress Bars and Levels: These are crucial visual feedback tools that clearly structure the learning journey and make progress feel tangible. [4, p.1113]

Implementation Platforms: Learning Management Systems (LMS): Moodle is identified as both a core OESES tool for distance learning and a platform with excellent functionality for gamification. The Moodle system inherently contains the four basic elements: mechanical components, dynamics, aesthetics, and social interaction. Specialized Tools: Applications like Kahoot!, Quizlet, or Duolingo are built entirely around gamified principles. [1, p.119 , p.125]

Gamification presents a powerful, user-centric strategy to combat the critical issues of low motivation and engagement in the modern digital education sphere. The benefits, including improved knowledge retention and the creation of a safe environment for practice, are significant. However, its effectiveness is entirely dependent on thoughtful implementation. A shallow «pointification» is insufficient.

I believe the most effective tools are the advanced elements, such as narratives, levels, and progress bars. They help to pull the learner into the process. When implemented well, the course is no longer just a «pile of information» but a structured journey. Seeing a progress bar or completing a level helps the learner visually understand that they are moving forward.

Ultimately, the goal is not just to make learning fun, but to make it effective. By using gamification, educators can motivate students to actively engage with the complex but necessary Open Electronic Scientific and Educational Systems (OESES), thereby developing the essential «information and research competence» needed for success in their future professional activities.

References

1. Kalashnikova L. V. Gamification as a trend in organizing professional education of sociologists in the context of distance learning: analysis of practices / L. V. Kalashnikova, I. V. Hrabovets, L. S. Chernous, V. A. Chorna, A. E. Kiv // Educational Technology Quarterly. – 2022. – Vol. 2022 (2). – P. 115–128.
2. Heegaard S. What is gamification in e-learning? [Електронний ресурс] / S. Heegaard // Articulate Blog. – Режим доступу: <https://www.articulate.com/blog/what-is-gamification-in-e-learning/> (дата звернення: 22.10.2025).
3. Spirin O. M. The Use of Open Electronic Scientific and Educational Systems to Support the Professional Activities of Research and Teaching Staff of Ukrainian Universities and Scientific Institutions [Електронний ресурс] / O. M. Spirin, O. V. Matviienko, S. M. Ivanova, O. V. Ovcharuk, I. S. Mintii, I. V. Ivaniuk, L. A. Luparenko // Електронна бібліотека НАПН України. – 2021. – Режим доступу: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/730529/1/DHW_Spirin_Ivanova_et_all.pdf (дата звернення: 22.10.2025).
4. Strmečki D. Gamification in E-Learning: Introducing Gamified Design Elements into E-Learning Systems [Електронний ресурс] / D. Strmečki, A. Bernik, D. Radošević // ResearchGate. – 2016. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/303430512_Gamification_in_E-Learning_Introducing_Gamified_Design_Elements_into_E-Learning_Systems (дата звернення: 22.10.2025).

INTERCULTURAL COMMUNICATION AND CYBER-ETHICS IN TRANSNATIONAL EDUCATION

Marko Lakhmatov, student of BMI-23 (Biomedical Engineering),
lakhmatov_m_v@students.pstu.edu¹

Dr. Lyudmyla Kruhlenko, PhD (Pedagogy), associate professor of the department of
Translation and Interpretation, kruhlenko_l_v@pstu.edu¹

¹ SHIE “Pryazovskyi State Technical University”

Transnational education (TNE) increasingly relies on digital platforms that connect learners and educators across linguistic, cultural, and geopolitical boundaries. As these interactions expand, cybersecurity and ethical digital behavior become critical components of academic integrity and safe knowledge exchange. This paper examines the intersection of intercultural communication and cyber-ethics within TNE contexts, emphasizing how cultural norms, linguistic diversity, and differing technological literacies influence students' cybersecurity decisions and ethical conduct online. Drawing on research in applied linguistics, educational technology, and cybersecurity studies, the paper identifies the key risks and proposes pedagogical strategies for fostering cyber-ethical awareness among globally mobile and multilingual learners.

Transnational education creates new opportunities for international collaboration, mobility, and shared knowledge creation. However, it also introduces complex challenges related to cybersecurity and digital ethics. Students and faculty who participate in mobility programs, virtual exchanges, or hybrid learning environments must navigate diverse communication styles, varying norms of digital behavior, and unfamiliar institutional security systems. In multilingual settings, misunderstandings and misinterpretations may lead to accidental data breaches, unethical information-sharing, or vulnerability to cyber threats.

This paper explores how intercultural communication practices shape cyber-ethical behavior in TNE environments. By analyzing case studies and emerging research, it argues that intercultural competence and cyber-literacy must be integrated into global higher education to protect academic communities and promote responsible digital citizenship.

Intercultural communication in digital academic settings involves the exchange of information between individuals who bring diverse linguistic backgrounds, cultural norms, and communicative expectations into virtual learning environments. As transnational education increasingly relies on online platforms, students and educators must navigate differences in communication styles, interpretations of politeness, and approaches to conflict resolution, all of which shape the effectiveness of collaboration. Digital spaces often amplify these challenges: the absence of nonverbal cues, variations in technological literacy, and reliance on written communication can lead to misunderstandings or unintended ambiguity, particularly for multilingual participants. Additionally, differing cultural norms regarding authority, directness, and participation influence how individuals interpret and respond to messages in academic platforms such as learning management systems, video conferencing tools, and collaborative workspaces. Understanding these intercultural dynamics is essential for fostering inclusive, respectful, and efficient digital learning environments in which all participants can engage meaningfully across linguistic and cultural boundaries.

Students from high-context cultures may rely on implicit messages and assume shared understanding, while students from low-context cultures expect explicit instructions and direct communication. These differences can influence how individuals interpret cybersecurity guidelines, consent forms, or warnings issued by digital platforms.

Multilingual learners may struggle to interpret technical terminology in the host language, especially when handling institutional cybersecurity protocols. Misinterpretation can lead to insecure practices, such as:

- ignoring system alerts due to linguistic confusion;
- misunderstanding privacy settings;
- inadvertently sharing sensitive documents.

Perceptions of authority, trust in technology, and attitudes toward institutional surveillance differ across cultures. These factors shape how students respond to cybersecurity policies and whether they view digital monitoring as protection or intrusion.

Cyber-ethics in transnational education encompasses the principles and practices that guide responsible, secure, and ethical digital behavior among learners and educators who collaborate across national, cultural, and institutional boundaries. As international mobility and virtual exchange programs expand, students must navigate diverse expectations surrounding academic integrity, data privacy, and digital conduct. What constitutes ethical behavior online – such as the appropriate use of AI tools, handling of sensitive academic materials, or norms of collaboration – can vary significantly across countries and educational traditions, creating potential for unintentional misconduct. Transnational learners often work within multiple information systems simultaneously, exposing them to complex cybersecurity requirements and ethical dilemmas, particularly when using translation technologies, shared platforms, or cloud services. Consequently, cultivating cyber-ethical awareness in these contexts requires more than technical instruction: it demands culturally responsive guidance that acknowledges linguistic diversity, differing digital literacies, and the globalized nature of academic communication.

Practices considered unethical in one education system (e.g., reusing one's own previous work, collaborating on individual tasks) may be acceptable or encouraged in another. These cultural discrepancies can lead to unintentional misconduct.

The ethical use of technology and AI tools in higher education requires learners and educators to make informed, responsible decisions about how digital resources are accessed, shared, and integrated into academic work. As artificial intelligence, machine translation, and automated writing systems become increasingly embedded in transnational learning environments, students must understand both their benefits and potential risks. Uploading sensitive documents to public AI platforms, relying on machine translation for confidential communication, or using generative tools to produce academic assignments can lead to breaches of data privacy, misrepresentation of authorship, or violations of institutional integrity policies. These risks are particularly acute in multilingual and mobile learning contexts, where students may depend on such tools to overcome linguistic or cultural barriers. Ethical use therefore extends beyond compliance with technical rules –

it involves critical awareness of how AI systems store, process, and interpret data, as well as transparency about when and how digital assistance is employed. Developing these competencies enables learners to navigate global digital ecosystems responsibly while maintaining trust, academic integrity, and respect for intellectual property.

Online harassment and intercultural misunderstandings are significant challenges in transnational digital learning environments, where students from diverse linguistic and cultural backgrounds interact across virtual platforms. Differences in communication styles, norms of politeness, and rhetorical conventions can result in unintended offense, perceived exclusion, or microaggressions, even when no harm is intended. Multilingual learners may misinterpret tone, humor, or indirect criticism, increasing the likelihood of conflict or discomfort in collaborative spaces such as discussion forums, video calls, and group projects. Additionally, cultural differences in reporting, addressing, or responding to harassment may leave some students vulnerable or unsure of appropriate recourse. Addressing these issues requires institutions to implement culturally responsive cyber-ethics policies, provide guidance on respectful online communication, and cultivate intercultural competence to foster inclusive, safe, and productive digital learning environments.

Emerging research shows that cybersecurity is not merely a technical issue but also a socio-cultural one. The ways students understand, interpret, and respond to cyber risks are shaped by communication habits, cultural expectations, and linguistic competencies.

International students are often targeted by phishing scams that imitate official university communication. Linguistic insecurity increases susceptibility to:

- phishing emails with grammatical errors;
- fraudulent messages about visas or scholarships;
- impersonation attacks exploiting unfamiliar institutional terminology.

Linguistic vulnerability to cyber threats refers to the heightened risk that multilingual or non-native speakers face when navigating digital environments in languages they are less proficient in. In transnational education, international students often receive emails, notifications, or system alerts in a host language, which may include technical terminology, security warnings, or procedural instructions that are difficult to fully comprehend. This can make them more susceptible to phishing attacks, fraudulent communications, or inadvertent disclosure of sensitive information. Attackers often exploit linguistic uncertainties, using subtle errors, unfamiliar phrasing, or culturally targeted content to increase credibility and deceive recipients. Consequently, ensuring that cybersecurity measures and training are accessible in multiple languages—and are sensitive to the nuances of linguistic comprehension—is essential for protecting the digital safety of globally mobile learners.

Some cultures emphasize collectivism and information-sharing, while others prioritize individual data protection. These cultural orientations influence password management, account-sharing practices, and openness to digital tracking tools like two-factor authentication.

During academic mobility, students manage institutional accounts from home and host universities, each with distinct cybersecurity expectations. Multilingual interfaces and inconsistent terminology may cause confusion or unsafe shortcuts.

To ensure the safe, ethical participation of multilingual and mobile learners, universities must adopt a holistic approach to cybersecurity and intercultural competence.

Universities can provide multilingual cybersecurity training materials in multiple languages, use plain-language explanations of risks as well as include examples of culturally relevant cyber threats. At the same time academics can integrate modules on digital citizenship in COIL and mobility programs, offer scenarios that highlight intercultural misunderstandings and ethical dilemmas, encourage reflection on cultural differences in digital norms.

Intercultural communication and cyber-ethics are central to the future of transnational education. As global academic mobility expands, universities must recognize the cultural and linguistic factors that influence how students engage with cyber risks and ethical challenges. By integrating multilingual support, intercultural training, and cyber-literacy into global learning ecosystems, institutions can protect academic communities and foster responsible, ethical digital participation.

Developing these competencies will not only mitigate cybersecurity threats but also enhance students' ability to collaborate across cultures, strengthening the overall quality and resilience of transnational education.

ІНКЛЮЗИВНІ ЦИФРОВІ ПРАКТИКИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ В УМОВАХ СУСПІЛЬНИХ ТА ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ

Левицька Тетяна Олександрівна, доцент, канд. техн. Наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, tlevitiisys@gmail.com¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Інклюзивна дистанційна освіта виступає ключовим елементом забезпечення рівного доступу до якісного навчання для студентів з особливими освітніми потребами (ООП). В умовах цифровізації, глобальних криз та воєнних подій дистанційний формат став не лише альтернативою традиційній освіті, а й необхідним інструментом забезпечення безперервності навчального процесу [1-2].

Одним із центральних підходів до формування інклюзивного середовища є універсальний дизайн для навчання (Universal Design for Learning – UDL). Цей підхід передбачає врахування різноманітності студентів ще на етапі створення навчальних матеріалів і організації освітнього процесу [3]. Особливої актуальності UDL набуває в дистанційному та змішаному навчанні, де доступність і гнучкість є критично важливими.

Основні виклики дистанційної інклюзивної освіти включають:

- психоемоційні труднощі студентів з ООП;
- нестачу адаптованих навчальних матеріалів;
- низький рівень цифрової доступності платформ;
- недостатню підготовку педагогів до роботи з інклюзивними цифровими інструментами;
- обмежений доступ до спеціалізованих технологій.

Асистивні технології та системи на основі штучного інтелекту (AI) відкривають нові можливості для підтримки студентів з ООП. До них належать технології розпізнавання мовлення, синтезу мовлення, адаптивні AI-помічники, чат-боти, інтелектуальні рекомендаційні системи, VR/AR середовища [4]. Вони сприяють персоналізації навчання, розширенню доступу до контенту та компенсації когнітивних, сенсорних і моторних бар'єрів.

Важливою складовою є розробка інклюзивних цифрових платформ, що мають відповідати міжнародним стандартам доступності (WCAG 2.1), підтримувати мультимодальність контенту та забезпечувати незалежну навігацію. Інтеграція AI дозволяє адаптувати інтерфейс та навчальні матеріали під індивідуальні потреби користувачів.

Таким чином, поєднання принципів UDL, сучасних асистивних технологій та AI-рішень формує основу для створення стійкої, гнучкої та ефективної моделі інклюзивної освіти, здатної забезпечити рівні можливості для всіх студентів, зокрема в умовах воєнних і соціальних викликів.

Список використаних джерел

1. Pozas, M., Letzel-Alt, V. Coping with distance learning during COVID-19 and its impact on students' emotional experiences: Differences between students with and without special education needs // *Journal of Research in Special Educational Needs*. – 2023. – Vol. 23, № 4. – P. 354–364. DOI: 10.1111/1471-3802.12582

2. Al-Azawei, A., Serenelli, F. Designing for diversity in e-learning environments: A review of accessibility issues and UDL strategies // *Education and Information Technologies*. – 2022. – Vol. 27, № 2. – P. 1695–1713.

DOI: 10.1007/s10639-021-10783-2

3. Espada-Chavarria, R., González-Montesino, R. H., López-Bastías, J. L., Díaz-Vega, M. Universal Design for Learning and Instruction: Effective Strategies for Inclusive Higher Education // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13, № 6. – Article 620. DOI: 10.3390/educsci13060620
4. He, J., Xie, H. AI-Driven Design for Inclusive E-Learning Platforms // International Journal of Human-Computer Interaction. – 2023. – Vol. 39, № 7. – P. 644–659. DOI: 10.1080/10447318.2022.2158294

AI AS A CATALYST FOR MULTILINGUAL ACADEMIC INCLUSION

Andrii Logachov, student of group RP-22, lohachov_a_s@pstu.edu¹
Dr. Lyudmyla Kruhlenko, associate professor, department of Translation and Interpretation, kruhlenko_l_v@pstu.edu¹
¹SHEI “Pryazovskyi State Technical University”, Dnipro

The increasing globalization of higher education has created a profoundly multilingual academic environment, where scholars, students, and researchers interact across diverse linguistic boundaries. Artificial intelligence (AI) technologies – particularly advances in natural language processing (NLP) and machine translation – are rapidly reshaping possibilities for multilingual academic inclusion. AI tools can lower linguistic barriers to access, participation, and knowledge production in multilingual higher-education settings by enabling translation, real-time interpretation, adaptive multilingual interfaces, and scaffolding for language learning. At the same time, algorithmic bias, uneven resource distribution, and pedagogical mismatches risk reproducing exclusion. This academic paper synthesizes literature across AI, multilingual education, and inclusive pedagogy; proposes a conceptual framework for evaluating AI interventions for multilingual inclusion; reviews technological affordances and limitations; and offers recommendations for institutions, instructors, and policymakers, as well as we explore the multifaceted role of AI in supporting multilingual academics, analyzing both the significant opportunities for enhanced productivity and inclusivity, as well as the critical ethical and pedagogical challenges that must be addressed.

Global academic ecosystems are increasingly multilingual, yet linguistic inequalities persist. Recent advances in AI, especially in NLP and neural machine translation, offer new tools to mitigate such barriers. In our paper we also examine how AI can act as a catalyst for multilingual academic inclusion while identifying ethical, pedagogical, and technical constraints.

In multilingual, multicultural, and digitally mediated environments, communication and comprehension gaps can hinder learning, collaboration, and social inclusion. These gaps are especially visible in higher education settings affected by displacement, internationalization, or virtual mobility.

Communication and comprehension are foundational to learning. Yet, in increasingly global and digital contexts, disparities in language proficiency, cultural background, and access to technology frequently create barriers between instructors and students and among learners themselves. These gaps can impede academic success, interpersonal trust, and the overall quality of collaboration. The challenge is especially acute in international and crisis-affected educational settings, including refugee integration programs, virtual exchange (VE) initiatives, and global classrooms.

Bridging these gaps requires a holistic understanding of how communication functions across languages, cultures, and digital modalities. This article explores the nature of communication and comprehension gaps and identifies practical and research-grounded approaches that educators can implement to support transparent, inclusive, and accessible learning.

Differences in vocabulary range, syntactic structures, idiomatic expressions, and academic discourse conventions can create misunderstanding even between learners with high proficiency. Students learning in an additional language often struggle with processing speed, note-taking, and following spontaneous classroom discussions. Virtual classrooms, messaging platforms, and AI tools

introduce additional challenges: audio quality, limited nonverbal cues, reliance on written instructions, and uneven digital literacy. These can widen existing gaps instead of narrowing them.

Advanced AI-powered translation and interpretation tools (e.g., DeepL, Google Translate) are foundational for multilingual support.

When we need real-time accessibility these tools offer instant translation of course materials, lectures, and academic announcements, ensuring students grasp content regardless of their native language proficiency.

At the same time AI platforms can quickly synthesize dense academic texts, making complex concepts more comprehensible by providing summaries or simplified explanations in multiple languages. This is particularly valuable for students with lower proficiency in the language of instruction.

For multilingual resource generation educators can use AI to generate quizzes, worksheets, and lesson plans simultaneously in various languages, facilitating differentiated instruction and promoting equitable access to educational resources.

Enhancing academic writing and research with AI involves leveraging intelligent tools to support clarity, rigor, and efficiency across the research lifecycle. AI-powered platforms assist scholars in identifying relevant literature, synthesizing large volumes of information, and managing references with greater accuracy. Advanced language models can help refine argument structure, improve academic tone, and support multilingual writers in producing clearer, more coherent texts. At the same time, AI-driven analytics enable researchers to detect patterns, generate hypotheses, and visualize data more effectively. When used ethically and transparently, AI does not replace critical thinking or scholarly creativity but instead amplifies them – freeing researchers to focus on conceptual depth, methodological innovation, and original contributions to knowledge.

For non-native speakers, AI writing assistants and language refinement tools address critical challenges in producing scholarly work. For language accuracy and style tools like Grammarly or specialized AI academic paper writers offer immediate feedback on grammar, syntax, vocabulary, and adherence to specific academic styles, boosting the quality and consistency of submissions. If you need paraphrasing and idea Organization AI can assist in ethical paraphrasing (when critically reviewed) and in generating, outlining, and structuring complex research ideas, helping scholars focus on intellectual contribution over linguistic struggle. For reference management AI-powered citation tools streamline the process of referencing and formatting, a common challenge in cross-cultural academic writing. This support can increase the confidence and willingness of non-native speakers to participate in global scholarship.

While the benefits are significant, the uncritical use of AI instruments introduces new pedagogical, equity, and integrity concerns that require careful consideration.

Excessive dependence on AI for core tasks, such as translation or sentence generation, can lead to cognitive offloading and impede the development of critical academic skills in the target language. Over-relying on machine translation may bypass the necessary cognitive effort required for internalizing grammar, vocabulary, and nuanced expression, ultimately hindering long-term language proficiency development. Consistently using AI to summarize complex texts can lead to a reduction in the capacity for critical thinking and deep analysis, as students fail to engage directly with the source material.

AI models, trained on vast datasets, can perpetuate linguistic and cultural biases present in the training data. If training data disproportionately favours a majority language (e.g., English in science), AI output may subtly marginalize less common languages or fail to represent diverse cultural perspectives accurately. AI tools are prone to fabrication or "hallucinations," generating convincing but entirely false information or subtly altering the intended meaning of an academic argument, which can compromise research integrity.

The use of AI blurs the lines of authorship and originality, posing a direct threat to established principles of academic misconduct. Presenting machine-generated or machine-translated text as one's own original work, especially in assessed assignments, constitutes academic misconduct. Institutions must develop clear policies regarding the acceptable and prohibited uses of AI. Uploading sensitive

research data or unpublished work into third-party AI tools raises critical data privacy and security concerns, requiring institutions to establish protocols for responsible data handling.

AI offers significant potential to expand multilingual academic inclusion but must be integrated into equitable pedagogical and governance structures. The future of the multilingual academic environment is inextricably linked with AI. The ultimate goal is not to automate the human scholar, but to leverage AI instruments as intelligent scaffolds that promote equitable participation, accelerate knowledge dissemination, and allow scholars from all linguistic backgrounds to contribute their unique intellectual insights to the global academic discourse.

References

1. Alotaibi, N. S. (2024). The impact of AI and LMS integration on the future of higher education: Opportunities, challenges, and strategies for transformation. *Sustainability*, 16(23), Article 10357.
2. Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 610–623).
3. Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., ... & Koohang, A. (2023). “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642.
4. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
5. Sangwa, S., & Mutabazi, P. (2025). AI-Powered Multilingual Degrees in Higher Education: Postcolonial Insights on Linguistic Justice and Disruptive Innovation. *Open Journal of AI, Ethics & Society*, 1(1).
6. Selwyn, N. (2020). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
7. Singhal Puri, H. (2025). *AI for Developing Multilingual Educational Content: A Comprehensive Analysis of Current Technologies and Future Directions*. ResearchGate.
8. Stokel-Walker, C. (2023). ChatGPT listed as author on research papers: Many scientists disapprove. *Nature*, 613(7945), 620–621.
9. UNESCO. 2003. *Education in a Multilingual World*.
10. World Association of Medical Editors. (2023). Chatbots, generative AI, and scholarly manuscripts. WAME Editorial.

ADVANCING CYBER HYGIENE EDUCATION THROUGH COIL: INTERACTIVE STUDENT-LED WORKSHOP ON DIGITAL SECURITY

Yuliia Novichkova, undergraduate student at the Department of Cyber Security and Information Protection, Faculty of Information Technology, julia.novichkova@knu.ua¹

Ivan Parkhomenko Candidate of Technical Science (Phd), Associate Professor, ivan.parkhomenko@knu.ua¹

Larysa Liashenko Candidate of Psychological Sciences, Educational and Scientific Institute of Philology, l.liashenko@knu.ua¹

¹Taras Shevchenko University of Kyiv

Abstract. This paper presents the experience of conducting the international COIL workshop “Fundamentals of Cyber Hygiene 2.0: Advanced.” The workshop addressed practical aspects of cybersecurity, including privacy protection (cookies, fingerprinting, geolocation), data collection practices of major online platforms, and fundamental concepts of ethical hacking and system vulnerabilities. The activity enhanced students’ awareness of their digital behavior and improved their understanding of how common cyberattacks operate in real-world contexts.

Key words: COIL workshop, cyber hygiene, privacy protection, ethical hacking, digital footprint, data tracking, vulnerabilities

Cyber hygiene education plays a vital role in building a safe digital society. The “Fundamentals of Cyber Hygiene 2.0: Advanced” COIL workshop aimed to raise awareness among university students about online privacy, data protection, and ethical hacking fundamentals. By combining interactive learning methods with real-world examples, the workshop helped participants strengthen their understanding of digital risks and responsible online behavior.

The COIL workshop “Fundamentals of Cyber Hygiene 2.0: Advanced” consisted of two main thematic blocks combining theory, practice, and interactive participation.

The first block, explored the mechanisms of data collection and digital tracking. Particular attention was given to browser tracking technologies - cookies, fingerprinting, and geolocation. The second block introduced participants to fundamental cybersecurity concepts from the attacker’s perspective. The session covered basic terminology and explained how common attacks exploit system vulnerabilities..

To enhance engagement, the workshop included interactive components – Kahoot quizzes conducted in breakout rooms and Mentimeter surveys - which encouraged active participation and immediate feedback. The format facilitated international collaboration and allowed participants from different universities to share their insights on digital privacy and ethical hacking.

Participant feedback indicated a high level of satisfaction with the workshop’s structure, clarity, and practical relevance. The introduction was described as clear, well-organized, and engaging, effectively setting the tone and context for the session. Students appreciated the logical flow of information and the way key concepts were presented in an accessible and meaningful manner. The balance between theory and practice was evaluated as well-aligned.

Overall, the workshop received positive evaluations for both its content and delivery. The combination of structured theory, relevant case discussions, and interactive learning fostered critical thinking about cybersecurity issues and contributed to the development of practical awareness and responsible digital behavior among students.

The COIL workshop “Fundamentals of Cyber Hygiene 2.0: Advanced” effectively combined international collaboration with applied cybersecurity learning. It enhanced participants’ understanding of digital privacy, data protection, and cyber threat mechanisms while fostering teamwork and communication in multicultural groups. Such initiatives can serve as a foundation for further academic and research collaboration between universities in the area of cybersecurity.

References

1. Riebe T., Biselli T., Kaufhold M. A., Reuter C. *Privacy Concerns and Acceptance Factors of OSINT for Cybersecurity: A Representative Survey*. Proceedings on Privacy Enhancing Technologies (PoPETs), 2023. – Available at: <https://petsymposium.org/popets/2023/popets-2023-0028.pdf> (accessed: 14.11.2025).
2. Akhtar A. *What Are Tracking Cookies? (A Complete Beginners Guide)*. [Electronic resource]. – Available at: <https://wpconsent.com/what-are-tracking-cookies/> (accessed: 14.11.2025).
3. Gill R. *What Is Open-Source Intelligence?* [Electronic resource]. – Available at: <https://www.sans.org/blog/what-is-open-source-intelligence> (published 23 February 2023, accessed: 14.11.2025).

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕРАКТИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ MOODLE У ПЕРСОНАЛІЗОВАНІЙ СРС З ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ В КРИЗОВИХ УМОВАХ

Носовська Світлана Євгенівна, старший викладач кафедри комп’ютерних наук,
nosovska_s_e@pstu.edu¹,

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сучасні умови викладання в ЗВО ускладнені нестабільністю, спричиненою економічними, воєнними чи постпандемічними викликами, що вимагає гнучких рішень для забезпечення безперервності освіти [1]. Це підсилює потребу у цифрових інструментах, здатних забезпечити

безперервність освітнього процесу в умовах ризиків та обмежень. Однією з найбільш ефективних платформ для організації дистанційної та змішаної роботи є Moodle, яка довела свою результативність у підтримці самостійної роботи студентів (СРС), особливо у фундаментальних дисциплінах, зокрема у вищій математиці, неодноразово підтверджена дослідженнями [2; 3].

Мета дослідження – оцінити можливості інтерактивних елементів Moodle 4.4 для персоналізації СРС, аналіз її інструментів, розробка рекомендацій для впровадження на основі відкритих даних. Пропонується дослідити, як інтерактивні елементи Moodle сприяють персоналізації навчання, самоконтролю студентів і підтримці навчального процесу в кризових умовах, з акцентом на детальні приклади застосування для конкретних математичних тем [4; 5].

Методи та джерела даних.

Аналіз базується на відкритих даних з міжнародних звітів, наукових статей з відкритим доступом та офіційної статистики платформи. Використано:

1) Звіт UNESCO GEM Report (2024) – контекст використання LMS в Україні під час війни (80% студентів) [1].

2) Дослідження JIME (2022) – емпіричні результати впровадження Moodle у вищій математиці ($n=245$ студентів, технічні ЗВО) [7].

3) EDUCAUSE Horizon Report (2025) – зростання завершення СРС у кризових регіонах (+25%) [8].

4) Moodle Statistics (2025) – глобальні метрики, зокрема зростання курсів з математики в нестабільних регіонах (+45%) [9].

5) Moodle Documentation 4.4 – технічні можливості інструментів [5].

Дані оброблено шляхом порівняльного аналізу, узагальнення та адаптації до контексту технічних ЗВО.

Платформа Moodle (версії 4.4) пропонує широкий набір інтерактивних елементів, які оптимізують організацію СРС.

Інтерактивні лекційні модулі. Елемент «Лекція» дозволяє створювати адаптивні траєкторії навчання, що відповідає сучасним підходам до персоналізації освіти [1]. Це дає змогу студентам вивчати теоретичний матеріал у власному темпі, повторювати складні теми, отримувати доступ до мультимедійного контенту. Наприклад, для теми «Диференційні рівняння першого порядку» викладач може структурувати лекцію з умовними переходами: якщо студент правильно розв'яже просте рівняння, таке як

$$y' + 2y = 0,$$

з розв'язком

$$y = Ce^{-2x},$$

то перехід до складніших прикладів $y' + Py = Q$; інакше – повернення до базових пояснень з відео та графіками. Викладачі можуть відстежувати активність студентів, аналізуючи, які розділи викликають труднощі. За даними досліджень (JIME, 2022), 71% студентів повторили складні теми, час на засвоєння скоротився на 18% [7].

Завдання для розвитку алгоритмічного мислення. Інструмент «Завдання» передбачає виконання індивідуальних практичних вправ. Наприклад, у темі «Лінійна алгебра» студенти можуть обчислювати обернену матрицю та завантажувати розв'язання у PDF чи LaTeX. Автоматичне фіксування термінів здачі та можливість деталізованого коментаря викладача спрощують оцінювання та підвищують прозорість навчального процесу [3], 89% завдань здано вчасно (EDUCAUSE, 2025) [8].

Тести з автоматичним оцінюванням і миттєвим зворотним зв'язком. Елемент «Тест» є ефективним інструментом самоконтролю, дозволяючи студентам відпрацьовувати навички розв'язання. Наприклад, для теми «Невласні інтеграли» тест може включати питання на обчислення інтегралу

$$\int_{-\infty}^0 \frac{1}{1+x^2} dx = \frac{\pi}{2},$$

де студент обирає правильний варіант або вводить формулу, а система надає миттєвий зворотний зв'язок із поясненням помилок. Moodle 4.4 підтримує як стандартні тести, так і тестові завдання з випадковими параметрами (тема «Невизначений інтеграл»):

$$\int (ax + b)dx,$$

що знижує ризик списування, підвищує рівень засвоєння матеріалу та академічну доброчесність [6]. Ці завдання 82% студентів оцінили як «корисні» (EDUCAUSE, 2025) [8].

Форум як середовище математичної комунікації. Особливу роль відіграє «Форум», який забезпечує асинхронну взаємодію між студентами та викладачем. У вищій математиці цей інструмент дозволяє обговорювати складні задачі, порівнювати методи розв'язання, ставити уточнювальні запитання. Форуми суттєво підсилюють взаємодію між учасниками навчання, що особливо важливо в умовах дистанційної роботи та нестабільного інтернету [4]. Правило «30 хвилин на редагування» дисциплінує студентів, спонукаючи їх обдумано формувати повідомлення, і зберігає хронологію дискусій, що є важливим для аналізу навчального процесу.

Семінари та взаємооцінювання. Інструмент «Семінар» сприяє розвитку критичного мислення, дозволяючи студентам оцінювати роботи одногрупників, наприклад, перевіряючи правильність розв'язання диференційного рівняння

$$y'' - 3y' + 2y = 0$$

з розв'язком

$$y = C_1 e^x + C_2 e^{2x}$$

або побудови графіків функцій. За даними досліджень кореляція самооцінки та оцінки викладача – $r = 0,85$ [7].

Додаткові елементи для систематизації знань. Елемент «Електронний урок» дає змогу структурувати матеріал поетапно, інтегруючи формули, графіки та відео, що полегшує засвоєння складних математичних концепцій. Додаткові інструменти, такі як «Глосарій», допомагають систематизувати терміни, наприклад, «власні вектори» чи «дивергенція», що є важливим для технічних ЗВО. Наприклад, для теми «Матриці» глосарій може включати приклад власних значень матриці

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$$

з власними значеннями $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 2$, ілюструючи поняття через інтерактивні посилання.

Переваги Moodle в умовах нестабільності. Платформа Moodle забезпечує гнучкість завдяки хмарним рішенням (MoodleCloud) і офіційному мобільному додатку Moodle App 4.3+, який підтримує офлайн-доступ до курсів. Це дає змогу студентам продовжувати навчання навіть у ситуаціях, коли відсутнє стабільне інтернет-з'єднання – актуальний фактор в умовах війни [3]. За даними UNESCO (2024), в Україні 80% студентів використовували LMS під час війни [1].

Інтеграція з сучасними інструментами, такими як Microsoft 365, Google Workspace чи BigBlueButton для відеоконференцій, розширює можливості платформи. Наприклад, викладачі можуть проводити онлайн-консультації з математичних тем або інтегрувати інтерактивні дошки, наприклад, для пояснення графіків функцій. Відповідність Moodle стандартам GDPR гарантує захист даних, що є важливим для європейських університетів.

Ефективність Moodle для СРС з вищої математики полягає в персоналізації навчання, автоматизації оцінювання та підтримці асинхронної взаємодії. Студенти отримують можливість самостійно аналізувати свої помилки через тести, що сприяє формуванню навичок самоконтролю. Це доводять результати проведених досліджень (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати (на основі відкритих даних)

Показник	До кризи	Під час кризи (з Moodle)	Зміна	Джерело
Завершення СРС	63%	88%	+25%	EDUCAUSE, 2025 [8]
Середній бал (математика)	65/100	76/100	+17%	JIME, 2022 [7]
Використання LMS (Україна)	45%	80%	+35%	UNESCO, 2024 [1]
Зростання курсів з математики	–	+45%	–	Moodle Stats, 2025 [9]

Викладачі, у свою чергу, можуть використовувати аналітику Moodle (зокрема, елементи штучного інтелекту для прогнозування успішності) для виявлення прогалин у знаннях і коригування навчального процесу.

Виклики та рекомендації. Успішне – впровадження Moodle вимагає постійної технічної підтримки для оновлення платформи до актуальних версій і захисту даних, а також методичної підтримки для створення якісного контенту. Розробка рекомендацій щодо структури курсів, критеріїв оцінювання та інтеграції мультимедіа є трудомістким процесом, але необхідним для забезпечення високого рівня освіти. Для вищої математики рекомендується створювати тести з випадковими параметрами, наприклад, для завдань типу: «Розв’язати диференціальне рівняння: $ay'' + by' + c = f(x)$ з різними a , b , c , та $f(x)$, щоб уникнути списування та стимулювати глибше розуміння.

Висновки. Система Moodle 4.4 є ефективним інструментом для організації СРС з вищої математики в технічних вишах в умовах нестабільності. Платформа забезпечує персоналізацію, самоконтроль і безперервність освіти через інтерактивні елементи, асинхронну взаємодію та офлайн-доступ. Студенти, які працювали з адаптивними лекціями та тестами з випадковими параметрами, продемонстрували вищу стабільність результатів.

Для успішного впровадження необхідний системний підхід: інтеграція з сучасними інструментами, навчання викладачів, регулярне оновлення та моніторинг через аналітику. Подальші дослідження – порівняння з Canvas, Gemini for Education чи власними AI-моделями.

Список використаних джерел

1. UNESCO. (2024). Global Education Monitoring Report 2024/5: Leadership in education. <https://www.unesco.org/reports/gem-report/en/2024>
2. Міністерство освіти і науки України. (2023). Рекомендації щодо організації дистанційного навчання в умовах воєнного стану. <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2023/22.08.2023/Inform-analytic.zbirn-Osvita.v.umovah.voyennogo.stanu-vykl.rozv.povoyen.perspekt.22.08.2023.pdf>
3. Фурсенко, О., Удодова, О., & Черновол, Н. (2024). Про наповнення англomовного контенту Moodle для математичних дисциплін. Освіта. Інноватика. Практика, 12(9), 95–102. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol12i9-015>
4. Драгієва, Л. В. (2023). Особливості навчання математики на дисциплінах вільного вибору в ЗВО в умовах дистанційної освіти. Академічні візії, (17). <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/212>
5. Moodle.org. (2025). Moodle 4.5: New features. https://docs.moodle.org/500/en/New_features [web:15, web:17]
6. Брехунець, А., & Усик, О. (2024). Використання у дистанційному навчанні освітньої платформи Moodle. Вісник Національного університету “Чернігівський колегіум”.
7. Romero, C., & Ventura, S. (2022). Educational data mining and learning analytics in Moodle for mathematics education: A case study. Journal of Interactive Media in Education, 2022(1), 12. <https://doi.org/10.5334/jime.712>

8. Pelletier, K., et al. (2025). 2025 EDUCAUSE Horizon Report: Teaching and Learning Edition. EDUCAUSE. <https://library.educause.edu/resources/2025/5/2025-educause-horizon-report-teaching-and-learning-edition>
9. Moodle Pty Ltd. (2025). Moodle statistics. <https://stats.moodle.org>

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ GOOGLE CLASSROOM У ЗМІШАНОМУ НАВЧАННІ

Поплавська Ганна Володимирівна, викладачка інформатики, group_1G@ukr.net¹

¹Луцький педагогічний фаховий коледж КЗВО «Луцький педагогічний коледж»
Волинської обласної ради, м. Луцьк

Інформатизація суспільства суттєво вплинула на систему освіти, спричинивши потребу в оновленні методів і форм організації навчального процесу. Особливої актуальності набуває впровадження змішаного навчання, яке поєднує традиційні методи викладання з використанням цифрових платформ. Такий підхід дозволяє забезпечити індивідуалізацію навчання, гнучкість у виборі темпу й форм роботи, а також посилює роль самостійної діяльності здобувачів освіти.

Серед великої кількості цифрових сервісів, що використовуються у змішаному навчанні, особливе місце займає Google Classroom, платформа, розроблена компанією Google спеціально для навчальних закладів. Її переваги полягають у простоті використання, інтеграції з іншими сервісами Google, такими як Drive, Docs, Sheets, Meet та Forms, а також у можливості організації повноцінного освітнього середовища.

Змішане навчання охоплює інтеграцію очної та дистанційної форм навчальної діяльності. Основна мета цього підходу полягає у створенні освітнього простору, де традиційне навчання підсилюється за рахунок цифрових технологій. Змішане навчання сприяє розвитку критичного мислення та самоорганізації студентів, індивідуалізації процесу засвоєння знань, формуванню цифрової грамотності та підвищенню мотивації до навчання через інтерактивні засоби.

Успішне впровадження змішаного навчання передбачає створення єдиного освітнього простору, де учасники мають можливість не лише здобувати знання, а й комунікувати, співпрацювати та оцінювати результати своєї діяльності. Саме цим вимогам відповідає платформа Google Classroom.

Платформа дозволяє викладачеві створювати навчальні курси та класи, розміщувати інструкції, матеріали, відео та завдання, задавати терміни виконання, проводити оцінювання та надавати зворотний зв'язок у реальному часі, організовувати онлайн-заняття через Google Meet та формувати електронне портфоліо студента. Google Classroom створює єдиний освітній простір, що підтримує інтерактивність, мобільність та доступність навчання.

Використання Google Classroom у змішаному навчанні сприяє зручній організації навчального процесу, оскільки всі матеріали структуровані за темами, що спрощує доступ до них. Платформа дозволяє викладачеві надавати оперативний зворотний зв'язок, швидко перевіряти завдання та коментувати їх. Система забезпечує прозорість оцінювання, дозволяючи студентам бачити свої результати в реальному часі. Інтеграція з іншими сервісами Google підвищує ефективність роботи і сприяє розвитку цифрової компетентності як викладачів, так і студентів. Крім того, платформа підтримує інклюзивне навчання, оскільки забезпечує доступ до матеріалів у будь-який час і з будь-якого місця.

Під час педагогічного спостереження у групах, де використовувався Google Classroom, встановлено, що більшість студентів здають роботи вчасно завдяки автоматичним нагадуванням, спостерігається підвищення активності у навчанні через коментарі та обговорення, зменшується навантаження викладача завдяки автоматизованій перевірці тестів та підрахунку балів, а також підвищується якість засвоєння матеріалу завдяки доступу до мультимедійних ресурсів і повторному перегляду відеоінструкцій та презентацій.

Для оцінки ефективності використання Google Classroom у змішаному навчанні було проведено аналіз діяльності студентів протягом одного семестру. Критеріями ефективності обрано рівень залученості студентів, своєчасність виконання завдань, якість навчальних результатів та задоволеність користувачів платформою. Результати опитування показали, що понад 80% учасників відзначили зручність у користуванні сервісом, можливість швидкого доступу до навчальних матеріалів та зворотного зв'язку з викладачем.

Використання Google Classroom сприяє формуванню навичок самоорганізації, відповідальності та цифрової грамотності. Порівняльний аналіз показав підвищення середнього балу успішності на 10–15% у групах, де активно застосовувався цей інструмент. Отже, Google Classroom довів свою ефективність як інструмент управління навчальним процесом у системі змішаного навчання, забезпечуючи інтеграцію офлайн- та онлайн-компонентів навчання в єдиний освітній простір.

Разом із тим, у процесі впровадження виявлено певні труднощі. Платформа потребує стабільного інтернет-з'єднання, має обмежені можливості візуального дизайну курсу. Також варто відзначити зростання навантаження, пов'язане з перевіркою електронних завдань, коментуванням робіт і постійним оновленням навчальних матеріалів. Це вимагає додаткового часу та адаптації традиційних методів оцінювання до цифрового середовища.

Для підвищення ефективності роботи з Google Classroom доцільно проводити навчальні тренінги для педагогів, розробляти єдині методичні рекомендації щодо створення курсів, поєднувати Classroom із візуальними та інтерактивними засобами, такими як Canva, Kahoot та Padlet, а також використовувати аналітичні інструменти для моніторингу результатів навчання.

Висновки

Платформа Google Classroom є ефективним засобом організації змішаного навчання, що забезпечує інтеграцію традиційних і цифрових методів навчання. Використання платформи підвищує якість освітнього процесу, сприяє формуванню цифрової культури, активізує самостійну діяльність учнів і викладачів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз впливу Google Classroom на академічну успішність, мотивацію та розвиток компетентностей у різних освітніх галузях.

Список використаних джерел

1. Подзигун, О. А. Використання Google Classroom у навчальному процесі закладів вищої освіти. Вінниця, 2020.
2. Ліцман, Ю., Швець, О., Осьмук, Н. Організація змішаного навчання за допомогою Google Classroom. Педагогічні науки, № 3-4, 2020, с. 91-107.
3. Войтович, І. С., Трофименко, Ю. С. Особливості використання Google Classroom для організації дистанційного навчання студентів. Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова, № 20(27), 2019, с. 39-43.
4. Москаленко, О. М., Федяй, І. А. Використання Google інструментів для освітнього процесу. 2023.
5. Носенко, Ю., Шишкіна, М., Ваценко, А. Цифрові інструменти Google для української освіти: використані можливості в умовах війни. Академічні візії, № 17, 2023.
6. Ляска, О., Чаграк, Н., Стриженко, Т. Оцінювання ефективності технологій викладання в умовах дистанційної освіти. Український педагогічний журнал, № 3, 2021.

РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ЩОДО ВИБОРУ МЕНТОРА ІЗ КРИТЕРІАЛЬНОЮ ОЦІНКОЮ

Соломка Артур Сергійович, магістр кафедри комп'ютерних систем і мереж,
artur200360@gmail.com¹

Голуб Тетяна Василівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, goluv.tv6@gmail.com +

Зеленьова Ірина Яківна, доцент, канд. техн. наук., доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, irina.zeleneva@gmail.com¹

¹ДВНЗ Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Сучасний розвиток інформаційних технологій значно розширив можливості для здобуття нових знань та професійних навичок. Онлайн-курси, освітні платформи, індивідуальні консультації з фахівцями стали звичними інструментами навчання. Проте, попри широкий спектр освітніх ресурсів, залишається відкритим питання ефективного підбору наставника (ментора), який би максимально відповідав потребам і рівню підготовки здобувача знань [1].

Однією з ключових проблем сучасного процесу менторства є відсутність об'єктивного механізму зіставлення потреб учня (менті) та компетентностей ментора [2]. У більшості випадків вибір наставника здійснюється випадково, на основі рекомендацій знайомих, суб'єктивних відгуків або ж загальної популярності спеціаліста. Це призводить до низки негативних наслідків: ментор може не мати достатніх компетенцій у конкретному навичку, який прагне вдосконалити менті; відсутність системного аналізу результатів роботи менті ускладнює оцінку ефективності наставництва.

Ще однією проблемою є складність відстеження прогресу учня. Традиційна модель навчання з ментором не передбачає обов'язкового збору статистичних даних щодо того, як саме змінюється рівень навичок менті протягом співпраці. У результаті учень не завжди може оцінити користь від занять, а ментор не має достатніх інструментів для коригування навчального процесу [3].

Багато освітніх платформ пропонують доступ до курсів із можливістю отримання консультацій від викладачів чи експертів (Udemy, Coursera). Ці платформи пропонують великий вибір курсів і спеціалістів, проте вибір ментора, здебільшого, не базується на глибокому аналізі конкретних навичок менті. Також відсутній інструмент відстеження реального прогресу учня за навичками, а оцінювання часто зводиться до проходження тестів або виконання завдань без довгострокового моніторингу.

Деякі великі організації (LinkedIn Learning, внутрішні HR-платформи компаній) створюють власні системи менторства, інтегровані в кадрові процеси. Тут підбір наставників може враховувати професійні досягнення співробітників, результати атестацій та розвиток у кар'єрних траєкторіях, що й надає можливість аналізу компетентностей на основі внутрішніх даних компанії й більш точний підбір наставників відповідно до потреб. **Однак виникають наступні проблеми:** використання можливе лише всередині компанії; відсутність універсальності для широкого кола.

Слід загадати й про системи управління навчанням (Learning Management Systems – Moodle, Blackboard, Canvas). LMS забезпечують інструменти організації освітнього процесу, контролю виконання завдань і відстеження успішності студентів, проте зосереджуються лише на формальній освіті й не мають достатню гнучкість для моделі «ментор – менті», й зовсім не орієнтовані на підбір наставника за конкретними навичками.

Таким чином, можна виокремити такі основні проблеми: **відсутність системи обґрунтованого підбору ментора** за конкретними навичками, які бажає вдосконалити менті **недостатність інструментів для оцінки компетентностей менторів**, що знижує прозорість процесу вибору наставника; **відсутність системного збору статистики щодо прогресу менті**, що унеможливує повну оцінку результативності наставництва; **складність аналізу взаємодії «ментор – менті»** у динаміці, що ускладнює вдосконалення навчальних програм та підходів.

Вирішення цих проблем потребує створення інтерактивної платформи, яка дозволить: здійснювати підбір наставників на основі визначених критеріїв та навичок, що потребують розвитку; акумулювати статистику як про діяльність менторів, так і про прогрес менті; забезпечити об'єктивність процесу навчання завдяки можливості відстеження динаміки змін у рівні компетентностей учня.

Для оцінювання результативності роботи ментора слід виконувати аналіз успішності досягнень менті. Для цього в системі повинно використовуватися регулярний збір даних на основі участі в змаганнях, або інших заходах, де відбувається пряма конкуренція між учасниками. Оскільки кількість таких подій протягом місяця може бути значною, система повинна агрегувати їхні результати, трансформуючи показники у структуровані метрики.

Теоретичною основою такого підходу є концепції **освітньої аналітики** та **кількісної оцінки ефективності навчання**, які спираються на методи статистичного аналізу та математичного моделювання результатів навчальної діяльності. Використання математичного апарату аналізу даних для інтерпретації динаміки досягнень дозволить об'єктивно порівнювати прогрес менті та виявляти вплив менторства на кінцеві результати [4].

Кожна навичка формуватиметься з набору метрик, які відображатимуть специфічні аспекти його прояву. Наприклад, для навички **«Точність»** ключовою метрикою стане **«Кількість влучень»**, що безпосередньо фіксується під час змагань. Такий підхід забезпечує репрезентативність, оскільки оцінювання ґрунтується на реальних змагальних результатах.

Кожна навичка оцінюватиметься в діапазоні від **0 до 100** балів. Вибір саме такої шкали обумовлений кількома чинниками: діапазон 0-100 інтуїтивно асоціюється з відсотковою шкалою, що спрощує розуміння результатів як для менті, так і для менторів; 100-бальна шкала дозволяє легко співставляти результати між різними навичками та учасниками, не потребуючи додаткового перетворення. Завдяки цьому діапазону всі метрики приводяться до єдиного масштабу незалежно від їхніх одиниць вимірювання (наприклад, кількість влучень, кількість помилок, час реакції тощо).

Кожна навичка складається з кількох метрик, що мають власну вагу. Сума ваг усіх метрик однієї навички **не повинна перевищувати 0,10**. Використання діапазону від 0,0 до 0,10 дозволяє: уникнути домінування окремих метрик у межах однієї навички; при масштабуванні ваг у межах 0,10 зберігається пропорційність, і при підсумовуванні результатів вихідне значення залишається у діапазоні 0-100; оскільки $0,10 = 10\%$, це забезпечує логічне співвідношення між внеском метрики та її впливом на кінцеву оцінку навички.

Таким чином, дані змагань, або інших заходів в яких передбачена конкуренція, безпосередньо трансформуються в **метрики з вагами**, які, у свою чергу, формують кінцевий бал навички.

Для обчислення підсумкового результату виконуватиметься нормалізація значень відносно «типових» низьких та високих результатів.

Якщо **більше значення метрики є кращим то підсумковий результат визначається за формулою 1.**

$$MetricScore = 100 * \frac{EntrantValue - L}{U - L} \quad (1)$$

Якщо **менше значення метрики є кращим то підсумковий результат визначається за формулою 2:**

$$MetricScore = 100 * \frac{U - EntrantValue}{U - L} \quad (2)$$

де: **EntrantValue** – значення метрики конкретного учасника;

L – нижня межа (5-й перцентиль, що відсікає найгірші випадки);

U – верхня межа (95-й перцентиль, що відсікає найкращі випадки);

100 – коефіцієнт шкали для приведення результатів у діапазон 0–100.

Підсумкова оцінка навички обчислюється як зважена сума результатів усіх її метрик обчислюється за формулою 3.

$$SkillScore = \sum (MetricScore * Weight) \quad (3)$$

де *Weight* – вага навички.

Такий підхід дозволяє уникати впливу крайніх значень, а також гарантує, що кінцевий бал відображає типовий рівень продуктивності.

Щомісячний моніторинг дозволяє визначати прогрес менті за конкретними навичками.

Для цього застосовується формула 4.

$$Improvement = \frac{SkillScoreEnd - SkillScoreStart}{50} * 100 \quad (4)$$

де: *SkillScoreStart* – результат на початку періоду;

SkillScoreEnd – результат наприкінці періоду;

50 – нормувальний коефіцієнт, що забезпечує інтерпретацію приросту у відсотках.

Для оцінки впливу роботи ментора на розвиток менті використовується формула 5.

$$Efficiency = \frac{SkillScoreEnd - SkillScoreStart / AmountOfMonths}{50} * 100 \quad (5)$$

де: *AmountOfMonths* – кількість місяців співпраці з ментором.

Цей показник враховує не лише загальний приріст результатів, а й динаміку змін у часі, що дає можливість відстежувати швидкість розвитку менті.

У результаті підхід забезпечує наступне: дані збираються регулярно та базуються на реальних подіях; усі результати нормуються до єдиної шкали; метод підходить для різних видів навичок і метрик завдяки універсальності формул.

Головне завдання системи полягатиме у формуванні рекомендацій для менті щодо вибору найоптимальнішого ментора з урахуванням конкретної навички, яку менті прагне покращити. Тож вихідними даними стануть: **досвід ментора, кількість поточних менті, історія попереднього менторингу, вибрана навичка.**

Метою є побудова моделі, яка: визначає ймовірний **відсоток покращення навички**; прогнозує **очікуваний кінцевий рівень навички**; оцінює **передбачувану тривалість навчання**. На основі цих трьох показників формується **рейтинг менторів**, з якого система обирає **десять найкращих**.

Для поставленої задачі найбільш придатним є підхід **багатофакторної регресії**. Обґрунтування вибору: **змінні (стаж, кількість менті, ефективність, тривалість, покращення) мають числову природу й прямий причинно-наслідковий зв'язок з результатами**; регресійна модель дозволяє передбачати похідні показники; коефіцієнти регресії показують внесок кожного фактору, що дає змогу пояснювати роботу системи; якщо згодом буде потрібно враховувати нові фактори (наприклад, специфічні методи роботи ментора), вони можуть бути легко інтегровані в регресійну модель.

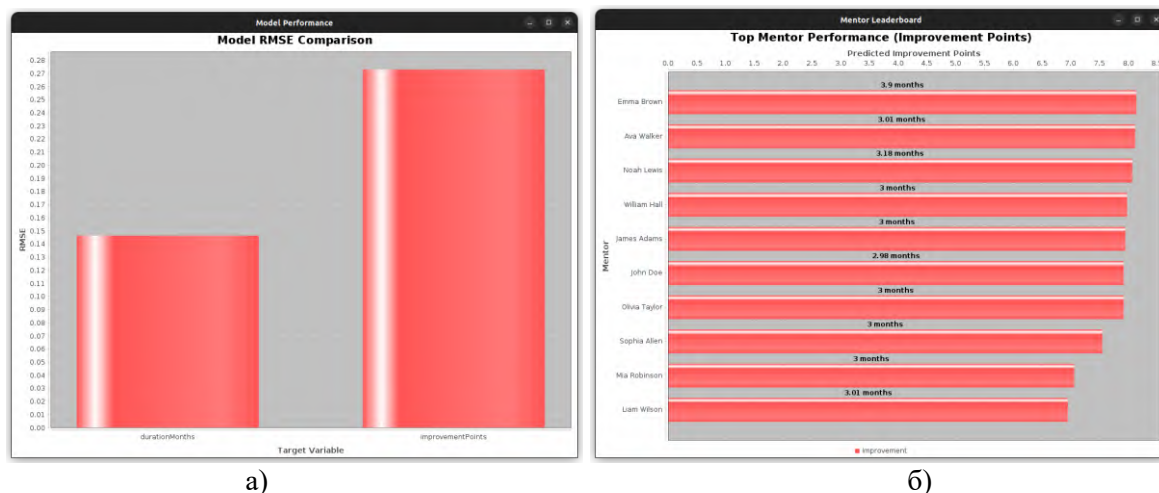
Дослідження виконано в контексті дисципліни фехтування, зокрема оцінюючи результати моделі на основі п'яти ключових навичок: **Accuracy, Defense, Attack, Footwork, Adaptability**.

Після навчання моделей було проведено оцінювання їхньої якості за допомогою метрики **RMSE (Root Mean Squared Error)** – середньоквадратичної похибки. Цей показник відображає середнє відхилення прогнозованих значень від фактичних, тобто характеризує точність моделі: чим менше значення RMSE, тим точніше модель відтворює залежності у даних.

Результати **RMSE (a)** та моделювання (б), у вигляді рейтингу менторів, представлено на рисунку 1.

На рисунку 1 можна побачити, що у результаті навчання отримано такі показники: для моделі прогнозування **improvementPoints** значення RMSE становить **0.2728**, тоді як для моделі

durationMonths – 0.1463. Отримані результати свідчать про достатньо високу точність побудованих моделей, оскільки величини похибки є незначними відносно діапазону цільових змінних. Це дозволяє зробити висновок, що моделі здатні ефективно узагальнювати навчальні дані та забезпечують адекватну якість прогнозування у контексті рекомендаційної системи для вибору менторів.



а) отримані результати **RMSE**; б) рейтингова таблиця менторів.
Рисунок 1 – Результати тестування роботи моделі

Що стосується рейтингу менторів: по осі ординат розташовано імена менторів, а по осі абсцис – значення прогнозованого рівня покращення, вираженого у балах, разом із тривалістю періоду прогнозу у місяцях. Як видно з діаграми, ментори мають порівняно стабільні результати у межах 3 місяців. Це свідчить про **достатньо однорідний рівень ефективності серед більшості наставників**, що, у свою чергу, може бути позитивним показником збалансованості програми менторингу.

Отримані результати дозволяють **визначити найефективніших менторів**, а також **виявити можливості для покращення показників інших учасників**.

Висновок. Розроблено комплексну методику для оцінки наставників та формування рекомендацій для їх вибору за необхідними навичками на основі результативності їх роботи з підтримкою контролю успіхів учня. Використання прогнозних характеристик при виборі наставників дає змогу формувати більш точну оцінку потенційного результату наставництва ще до його початку, що суттєво підвищує оптимальність процесу їх підбору.

Список використаних джерел

1. Crisp, G., & Cruz, I. Mentoring college students: A critical review of the literature between 1990 and 2007. *Research in Higher Education*, 50(6), 2009. 525–545 p.;
2. Zachary, L.J. *The Mentor's Guide: Facilitating Effective Learning Relationships*. Jossey-Bass, 2011. 112 p.;
3. Clutterbuck D., Megginson D. *Mentoring Executives and Directors*. Butterworth-Heinemann. 2004. 53 p.;
4. Siemens, G., & Baker, R. S. J. d. (2012). *Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration*. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (pp. 252–254). ACM.

ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Чернова Мирослава Денисівна, учениця 8 класу¹

Горбачова Наталія Вікторівна, вчитель інформатики, вчитель вищої категорії,
вчитель методист, nhorbachova@kyiv264.ukr.edu¹

¹ Комунальний заклад «Спеціалізована школа I-III ступенів № 264 з поглибленим вивченням англійської мови», м. Київ

У контексті зростання вимог до володіння іноземними мовами, особливо англійською, виникає потреба у створенні доступних, адаптивних та ефективних інструментів для вивчення та вдосконалення. Сучасні технології відкривають нові перспективи для розробки освітніх додатків. Тому обрана мета дослідження – створення інтерактивного програмного забезпечення, яке дозволить користувачам різного віку ефективно вдосконалювати знання англійської мови шляхом візуалізації, взаємодії з мовною моделлю та використання мультимедійного контенту. На сьогодні вже існує багато додатків вивчення мови. Було проведено їх порівняння за основними напрямками функціоналу: слухання (Listening), читання (Reading), мовлення (Speaking), письмо (Writing) та наявність словника для вивчення окремих слів. Результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння додатків для вивчення іноземної мови

Додаток	Основні можливості				
	Слухання (Listening)	Письмо (Writing)	Мовлення (Speaking)	Читання (Reading)	Словник (Vocabulary)
Duolingo	прослуховування коротких фраз, повторювання, вибір правильної відповіді	заповнення пропусків у реченнях	повторення фраз або речень	короткі тексти з вибором правильної відповіді	тематичні набори слів, багато повторення
Learn English	аудіозаписи на різні теми з транскриптом та вправами	самостійне вивчення, граматики, тести	обмежено (в основному через письмові вправи)	вправи на розуміння, але без інтерактивного підходу	лексика контекстуально представлена в аудіо/текстах
Test English	аудіо-завдання на розуміння	більше тестів на формування речень, граматику	обмежено (часто через тестування)	вправи true/false, multiple choice	тести на словниковий запас
Listen in English	вправи на слухання із tv, фільмів, новин, подкастів, за різними рівнями	не основний фокус (граматика та словниковий запас доступні, але вторинні)	обмежено	має лише аудіо завдання, без інтерактивності	лексика через контекст аудіо, але без інтерактивних словникових блоків
BBC learning English	аудіо та відео уроки з субтитрами	пояснення граматики, рідко письмові завдання	не підтримується	адаптовані новини, статті, діалоги	лексика через контекст або відео

Аналіз показав як важливі для вивчення різні види вправ, але не у всіх додатках це реалізовано. Тому в майбутньому додатку вирішено реалізувати можливість прослуховування діалогів та мовлення, а також перевірка письма та читання. Для реалізації цього долучено використання різних моделей штучного інтелекту. Наприклад, можна зробити опис зображення з AI-перевіркою на відсоток правильних відповідей (кількість правильних слів).

Окрім професійних засобів розробки мобільних додатків на сьогодні існують платформи конструктори. Було проведено огляд та дослідження цих платформ щодо створення додатка з вивчення англійської мови. Перелік цих засобів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння ресурсів

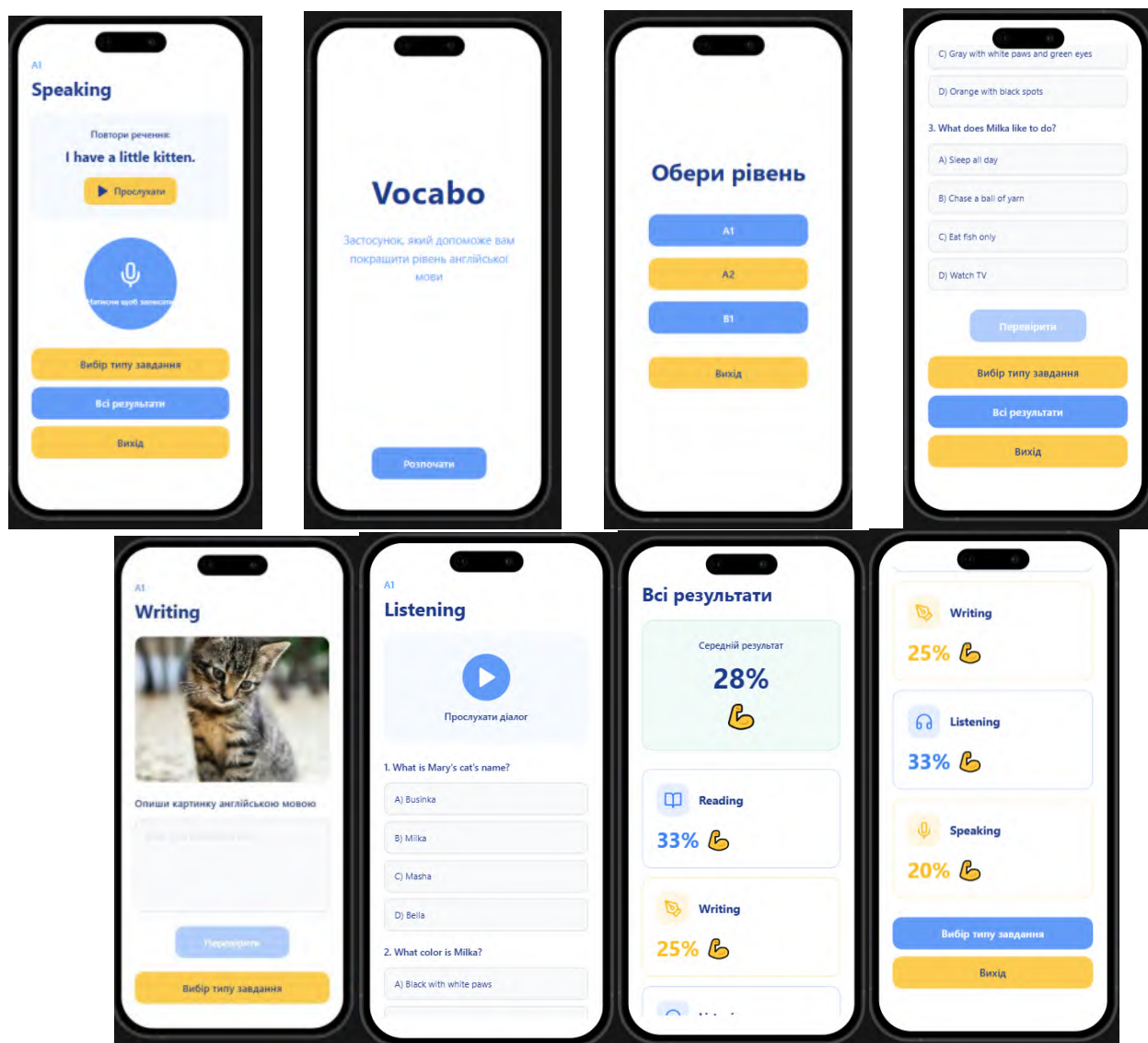
Ресурс	Інформація	Переваги	Обмеження	доступність
thinkable.com	Платформа для створення мобільних та веб застосунків без програмування	Простий інтерфейс, підтримка Android, iOS, Web App, робота через блоки	Деякі розширені функції доступні лише у платній версії.	Платно
appinventor.mit.edu	Освітня платформа для створення Android-застосунків у форматі блоків.	Безкоштовна, легка у використанні, зручна для навчання.	Працює тільки з Android, простий дизайн.	Безкоштовно
kodular.io	Онлайн-конструктор застосунків із розширеними функціями.	Має багато компонентів, сучасний вигляд, інтеграції (Google, Firebase)	Більш складний для новачків	Безкоштовно
rork.com	Платформа для створення мобільних і вебдодатків (аналог Appy Pie).	Можна швидко створити застосунок за шаблоном.	Обмежені безкоштовні функції.	Платно

Було проведені спроби розробки мобільного додатку за допомогою перелічених ресурсів. Так, ресурс Thinkable (<https://x.thinkable.com/projects>) є інтуїтивно зрозумілим, має блокове програмування, яке дуже схоже на Scratch. Є можливість використовувати штучний інтелект, але ж потрібно багато додавати, змінювати у коді. Було створено 3 екрани, щоб додати більше екранів необхідно було оплачувати.

Ресурс MIT App Inventor (<https://ai2.appinventor.mit.edu/#5874750581702656>) – це безкоштовний хмарний сервіс, який дозволяє створювати власні мобільні додатки за допомогою мови програмування на основі блоків. Є навчальні посібники, за допомогою яких початківці можуть вивчити основи програмування додатків для телефонів і планшетів Android та iOS. Для поступового вивчення програмування він підійде. Проте інтерфейс не користувацькоорієнтований та потребує час на опанування.

Ресурс rork.com – це вебсервіс, який позиціонує себе як інструмент без коду для створення мобільних додатків за допомогою штучного інтелекту (AI) і технології React Native. Мета

ресурсу: дати змогу людям без глибоких технічних навичок створити мобільний додаток для iOS/Android. Генерація UI/екранів додатка відбувається за текстовими підказками. Звичайно, щоб отримати те програмне забезпечення, яке спроектовано, треба було багато раз створювати правильні запити, продумати дизайн, логіку переходів, навчитись переглядати інтерфес з сайту, відкрити на смартфоні. Без знань програмування можна використати, але ж для повноцінного створення продукту треба більш професійного втручання. Проте протестувати його на телефонах в повній мірі не вийшло. Приклад екранів отриманого додатку наведено на рисунку 1, сам додаток доступно <https://rork.com/p/lg2yrf1kfg58jsj1nz3ca>.



Рисunek 1 – Результат створення додатку за допомогою ресурсу rork.com

Дослідження платформ конструкторів показало, що їх можливості мають обмеження, будь-то вартість чи функціонал. То для подальшої реалізації запланованого додатку вивчення англійської мови вирішено використати технології HTML, CSS, JS та зробити адаптивний веборієнтований інтерфейс, який буде відкриватись на будь-якому пристрої.

АНАЛІЗ ФОРМАТІВ НАВЧАННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ

Шатківський Віталій Миколайович,

вчитель інформатики, Заслужений вчитель України, pzs_shvm@ztu.edu.ua¹

Мосійчук Владислав Олександрович,

учень 10-А групи, 25a_mvo@liceum.ztu.edu.ua¹

¹ Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей»

¹ Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

Згідно зі 53 статтею конституції України, кожен має право на освіту. Повна загальна середня освіта є обов'язковою [1]. Держава розглядає дев'ять форм здобуття освіти: очна, заочна, дистанційна, мережева, екстернатна, сімейна, дуальна, педагогічний патронаж та здобуття освіти на робочому місці (Згідно зі статтею 9 закону України про освіту [2]). В контексті загальної середньої освіти, найбільш популярними способами є: очна, заочна та дистанційна.

З огляду на події останніх років все більшої популярності здобувають інтерактивні онлайн платформи. Це питання стало особливо гостро, якщо розглядати його разом з іншою проблемою - нестача вчителів. Кількість вчителів із року в рік стає меншою [3]. Можливо системне введення інтерактивних платформ на державному рівні буде спроможне частково вирішити проблему дефіцит кадрів та загально підвищити рівень освіти.

Онлайн платформи або сервіси - це сукупність інструментів, об'єднаних з метою полегшити роботу вчителів та покращити досвід учнів. Найпопулярнішими в Україні вважаються такі сервіси як: *naurok*, *vseosvita*, *classtime*. Ці платформи використовуються вчителями як допоміжний інструмент в очному і заочному навчанні. Також вони є основним засобом здобуття і перевірки знань в дистанційному навчанні. Крім них існує класичний метод, де тестові завдання друкуються на папері, а вся інформація розміщена в підручниках. Цей метод використовує традиційні способи надання та перевірки знань.

Онлайн платформи мають низку переваг, які переважно стосуються оптимізації та автоматизації:

- сервіси не прив'язані до часу (якщо педагог не поставить власне обмеження), тому випадання уроку через повітряну тривогу або будь яку іншу причину не буде про проблемою, адже тести та навіть уроки можна перенести на позашкільний час

- платформи виконують автоперевірку, що заощаджує час викладачів (якщо в учнів не виникли проблеми з відкритими питаннями)

- широка вчительська спільнота може гарантувати велику базу готових матеріалів (тестів, презентацій, відеоуроків і т.д.), що значно оптимізує час педагога

- пряма інтеграція з мультимедіа (навчальні відео, ігри, програми), що особливо актуально на уроках інформатики

- Набаго швидша актуалізація даних, в порівнянні з класичними платформами. Дослідженнями підтверджено, що інструменти, які використовуються в цих платформах, а саме: електронні підручники, віртуальні бібліотеки та музеї руйнують застарілий інформаційний вакуум та створюють новий відкритий освітній простір [4]. Нову інформацію можна внести в систему за кілька тижнів, в той час як типові платформи потребують роки на актуалізацію

З цього списку видно, що онлайн сервіси мають низку переваг над класичним методом навчання. Проте за п'ять років з часу початку їх активного введення, ці платформи залишилися корисним, проте все ж лише допоміжним інструментом в очному та заочному навчанні. А дистанційне навчання, де вони використовуються на постійній основі, часто критикується, адже більшість учнів, особливо 5-7 класів - мають слабкі навички самоосвіти [5]. Це пов'язано з низкою критичних проблем, які властиві цим засобам. Що принципово деякі з них не можуть

бути виправлені з розвитком технологій або глобалізацією, адже є особливостями самої системи. Слід порівняти традиційні методи навчання та онлайн платформи в низці важливих для загальної середньої освіти аспектів

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика форматів навчання

Аспекти	Онлайн освітні платформи	Класичний навчальний метод
Адаптація до рівня учня	Учням часто важко визначити власний рівень і знайти уроки під себе, тому адаптивність набагато нижче ніж здається. Проте якщо матеріал підпирає вчитель, він може створювати презентації та тести для кожного окремо, однак це займе багато часу (якщо педагог не буде використовувати готові матеріали). Адаптивність залежить від обставин, і буде низькою при самостійній роботі учнів, і досить високою при роботі з вчителем.	Вчитель може адаптувати матеріал до рівня учнів, проте часто педагог звертають увагу лише на загальний рівень класу, тому особисто адаптувати під учнів, які цього потребують буває важко. Адаптивність залишається на середньому рівні.
Доступність	Для доступу до навчання учням бажано мати персональний комп'ютер або ноутбук з доступом до інтернету, проте може вистачити й телефону. Залишається потреба в постійному підключенні до мережі, що є проблематичним в час, коли багато людей залишилися без житла, або є тимчасово переміщеними особами. Доступність залишається середньою.	Для доступу до навчання потрібно фізично бути присутнім на місці (в школі або дома). Також цей метод несе супутні витрати, такі як канцелярія. Не кожна сім'я може дозволити собі домашнє навчання, також слід звернути увагу, на те що умовах війни не кожна школа може функціонувати й не кожен учень може її відвідувати. У мирні часи доступність була б на високому рівні, адже безкоштовні школи були б майже по всій країні. Проте при поточних обставинах доступність залишається середньою.
Гнучкість вмісту	Матеріал в системі може оновлюватись швидко. Гнучкість вмісту залишається високою.	Для оновлення матеріалу в підручниках необхідно провести заміну самих книжок. Проте вчитель може самостійно підлаштовувати матеріал під сьогоднішній день. Гнучкість вмісту залишається відносно середньою.
Мотивація	Сучасні сервіси не можуть гарантувати повного зацікавлення студентів, проте все одно є потужним інструментом для принадування молодих учнів, завдяки гейміфікації. Спроможність до мотивації залишається відносно високою.	На жаль, традиційні системи не спроможні надати студентам достатній рівень мотивації. Учні дедалі більше втрачають зацікавленість до навчання [6]. Застарілість інструментів в сукупності з зацікавленістю вчителів негативно сприяє на учнівський досвід. Спроможність до мотивації залишається низькою.

Проаналізувавши дану таблицю, можна зрозуміти, що традиційний метод навчання, не дивлячись на низку проблем, залишається робочим інструментом. В той час як онлайн платформи, не дивлячись на гарні показники в окремих аспектах, мають низку фундаментальних проблем. Сучасні освітні сервіси не спроможні вирішити проблеми низької адаптивності при роботі без педагога та потребу в постійному підключенні до мережі.

На основі даного порівняльного аналізу можна зробити висновок, що жоден з актуальних форматів навчання не може повністю задовольнити освітні потреби сьогоднішнього дня. Класичний метод є дещо застарілим інструментом з рядом невирішуваних проблем, а онлайн сервіси мають низку фундаментальних проблем. Вони можуть бути лише допоміжним інструментом.

Досі існує потреба в сервісі який може гарантувати широку доступність та повну адаптивність до учня.

Списко використаних джерел

1. Конституція України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 30.10.2025)
2. Закон України про освіту URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення 30.10.2025)
3. Вчителі України: кадровий потенціал, тенденції та моделювання потреб до 2030 року, Громадська спілка «Освіторія» URL:
4. https://nushub.org.ua/wp-content/uploads/2024/11/osvitoriya_zvit_web.pdf (дата звернення 30.10.2025)
5. Інформаційно-ресурсне забезпечення освітнього процесу в умовах діджиталізації суспільства, Науково-методичний центр ВФПО (дата звернення 30.10.2025)
6. Дистанційне навчання: проблеми, пошуки, виклики, Гнатюк О.В (дата звернення 30.10.2025)
7. Мотивація навчальної діяльності учнів як педагогічна проблема, Андрощук І.П (дата звернення 30.10.2025)

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ОСВІТНІХ ТА ЕНЦИКЛОПЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ З ІСТОРІЇ ТА КУЛЬТУРИ УКРАЇНИ

Шатківський Віталій Миколайович,

вчитель інформатики, Заслужений вчитель України, pzs_shvm@ztu.edu.ua¹

Пшеничний Олексій Сергійович

учня 10-А групи, 25a_pos@liceum.ztu.edu.ua¹

¹ Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей»

Державного університету «Житомирська політехніка», м.Житомир, Україна

Згідно зі Статтею 53 Конституції України, кожен громадянин має право на освіту, повна загальна середня освіта є обов'язковою [1]. Реалізація цього права нерозривно пов'язана із забезпеченням вільного та наочного доступу до інформації, що сприяє повноцінному освітньому процесу та всебічному розвитку особистості.

Освітні та енциклопедичні інформаційні ресурси є ключовими платформами для візуалізації, систематизації та інтерактивного вивчення об'єктів спадщини. До них належать дві основні категорії:

1) Офіційні державні джерела, такі як ресурси Міністерства культури та стратегічних комунікацій України (МКСК) [2], які є головним постачальником наукових та достовірних даних. Ці платформи призначені для офіційного обліку та охоронному статусі пам'яток.

2) Приватні та туристичні картографічні сервіси, як-от проєкт "Discover Ukraine" [3], які ефективно використовують географічну візуалізацію для популяризації об'єктів серед широкої аудиторії та туристів. Незважаючи на значні зусилля у цифровізації, існують прогалини у поданні інформації, особливо з точки зору інноваційності та використання гейміфікованих методик. Сучасні педагогічні дослідження підтверджують ефективність едьютейнменту (навчання через гру) та візуалізації для кращого засвоєння складного матеріалу, що наразі не інтегровано у ці ключові ресурси.

Для порівняльного аналізу були обрані два репрезентативні приклади, що відображають різні підходи до цифрової інформації про спадщину:

– Офіційні ресурси Міністерства культури та стратегічних комунікацій (МКСК) (як джерело наукової та охоронної інформації).

– Проєкт "Discover Ukraine" (як картографічний, туристичний підхід).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика цифрових інформаційних сервісів для вивчення культурної спадщини України

Параметри	Офіційні ресурси МКСК (Державні реєстри)	Проект "Discover Ukraine"
Основне призначення	Облік, систематизація та захист об'єктів культурної спадщини	Візуалізація туристичних та географічних об'єктів на карті
Основний функціонал	Перелік/Списки об'єктів з фільтрацією за областями, пошук, офіційні документи	Перегляд об'єктів на карті, фотографії, короткий опис
Акцент	Наукова документація, охоронний статус, державна політика	Туризм, логістика, сучасна географія
Гейміфікація	Ні	Ні
Можливість вивчення за історичними періодами	Так (через фільтри/пошук), але не має ігрових "рівнів"	Ні
Орієнтованість аудиторії	Фахівці, науковці, державні органи	Широка аудиторія, туристи

Проаналізувавши порівняльну таблицю, можна зазначити, що існуючі сервіси є ефективними для своїх нішевих завдань (офіційний облік та туризм), проте вони не забезпечують комплексного інноваційного підходу, який поєднував би достовірну інформацію, високу географічну інтерактивність та едьютейнмент. Жодна з розглянутих платформ не пропонує багаторівневої гри-квізу з прив'язкою до чітко визначених історичних епох та інтерактивної мапи.

Таким чином, постає необхідність створення нового цифрового інструменту, який, спираючись на достовірність офіційних джерел (МКСК), закрий виявлені прогалини шляхом інтеграції сучасних вебтехнологій.

Ключові завдання, які необхідно вирішити:

- Розробити вебплатформу, що забезпечить високоінтерактивну візуалізацію історико-археологічних місць на карті України із застосуванням сучасних вебтехнологій.
- Реалізувати гейміфікований освітній модуль (квіз) з можливістю вивчення об'єктів у розрізі різних історичних періодів. Створити інструмент, який буде ефективним засобом навчання та популяризації спадщини серед молоді.

Список використаних джерел

1. Стаття 53 конституції України про освіту URL: <https://constitution.in.ua/articles/53/> (дата звернення: 01.11.2025).
2. Міністерство культури та стратегічних комунікацій України (МКСК) URL: <https://mcsc.gov.ua/kulturna-spadshchyna/derzhavnyy-reiestr-nerukhomykh-pam-iatok-ukrainy/>. (дата звернення: 01.11.2025).
3. Проект "Discover Ukraine" URL: <https://discover.ua/>. (дата звернення: 01.11.2025).

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЛАТФОРМИ INSTITUTE OF COMPETITION SCIENCES (ICS)

Шатківський Віталій Миколайович, учитель інформатики, Заслужений вчитель України, pzs_shvm@ztu.edu.ua¹

Чижевський Володимир Володимирович, учень 11-Г групи, 24g_chvw@liceum.ztu.edu.ua¹

¹ Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей» Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

У сучасному цифровому світі конкурси та освітні змагання стають важливою складовою навчального процесу. Однією з провідних міжнародних платформ, що підтримує розвиток освітніх ініціатив, є Institute of Competition Sciences (ICS) [1].

Платформа ICS була заснована у 2012 році як некомерційна організація, що прагне створити «академічну систему героїзму» – модель, у якій учасники отримують визнання не лише через нагороди, але й через інтелектуальні досягнення [1].

ICS об'єднує десятки міжнародних конкурсів з різних напрямів: науки, бізнесу, екології, технологій тощо [3]. Перевагою платформи є поєднання освітнього процесу з елементами ігрової мотивації.

Участь у конкурсах сприяє розвитку критичного мислення, дослідницьких умінь, командної роботи та лідерства [2]. Користувачі отримують доступ до методичних матеріалів, рекомендацій і прикладів успішних проєктів, що робить процес навчання інтерактивним та результативним.

ICS підтримує співпрацю з урядовими, освітніми та приватними організаціями, що розділяють цінності інноваційного підходу до освіти [4]. Водночас платформа має певні обмеження – вона не контролює якість кожного конкурсу безпосередньо, а також може стикатися з мовним бар'єром чи різницею у навчальних стандартах між країнами.

Попри це, досвід ICS може бути корисним для впровадження в українську освітню систему. Використання подібної моделі сприятиме формуванню компетентностей XXI століття, популяризації STEM-направів і розвитку культури змагання та співпраці серед молоді.

Висновок.

Платформа ICS є прикладом ефективного поєднання освіти, технологій та інновацій. Вона демонструє, як навчання може перетворюватися на процес самореалізації та розвитку потенціалу учнів. Адаптація подібних ініціатив в Україні допоможе створити сучасне освітнє середовище, у якому конкурси стають не лише засобом змагання, а й інструментом розвитку та натхнення.

Список використаних джерел

1. Institute of Competition Sciences. About the ICS – Official Page. – <https://www.competitionsscience.org/about/> (дата звернення: 31.10.2025).
2. Institute of Competition Sciences. Terms and Conditions. – <https://www.competitionsscience.org/terms-and-conditions> (дата звернення: 31.10.2025).
3. Institute of Competition Sciences. Competitions and Programs Overview. – <https://www.competitionsscience.org/competitions/> (дата звернення: 31.10.2025).
4. Institute of Competition Sciences. Home – The Science of Competitions. – <https://www.competitionsscience.org/> (дата звернення: 31.10.2025).

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ З ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНІСТЮ «VISUALEARN» ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ НАВЧАЛЬНИХ КОНЦЕПЦІЙ

Шостак Владислав Сергійович, студент групи МА-23, shostak_v_s@pstu.edu¹,
Балалаєва Олена Юріївна, канд. техн. наук, доцент, декан факультету інформаційних
технологій, balalaeva_e_u@pstu.edu¹,
¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сучасний освітній процес у вищій школі, особливо в рамках STEM-дисциплін (наука, технології, інженерія та математика), характеризується високим рівнем абстракції та інформаційної щільності. Студенти стикаються з необхідністю засвоєння складних, багатовимірних концепцій, таких як атомна структура речовин, принципи роботи механізмів, біологічні процеси на клітинному рівні або архітектурні конструкції. Традиційні методи навчання, що спираються на двовимірні ілюстрації, статичні схеми та текстові описи, часто виявляються недостатніми. Вони створюють високе когнітивне навантаження, вимагаючи від студента самостійно будувати складні просторові уявлення на основі плоских зображень, що не завжди є ефективним і призводить до поверхневого розуміння матеріалу.

Розвиток імерсивних технологій, зокрема доповненої реальності (Augmented Reality, AR), відкриває нові горизонти для педагогічного дизайну. AR дозволяє інтегрувати цифрові тривимірні об'єкти, анімації та дані в реальне фізичне середовище користувача в режимі реального часу. На відміну від віртуальної реальності (VR), що повністю занурює користувача в цифровий світ, AR доповнює його, створюючи унікальний гібридний досвід. Цей підхід сприяє кращому засвоєнню матеріалу, оскільки дозволяє перетворити пасивне споживання інформації на активний процес дослідження та взаємодії.

Аналіз ринку освітніх AR-застосунків (Anatomy 4D, JigSpace, Assemblr EDU) показує значний потенціал технології, однак виявляє і низку системних проблем: більшість рішень є вузькоспеціалізованими (наприклад, лише для анатомії), мають закриту екосистему контенту, що не дозволяє викладачам інтегрувати власні матеріали, або вимагають значних фінансових інвестицій. Відсутність універсальної, гнучкої та доступної платформи стримує масове впровадження AR у навчальний процес.

Метою даної роботи є розробка універсальної мобільної AR-платформи VisualEarn для операційних систем iOS та Android. Платформа покликана подолати обмеження традиційних навчальних засобів шляхом надання студентам та викладачам інструментів для інтерактивної візуалізації та дослідження складних навчальних концепцій у доповненій реальності.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- розробити архітектуру мобільного застосунку, що підтримує технології розпізнавання маркерів та відстеження простору;
- реалізувати функціонал для відображення, масштабування та інтерактивної взаємодії з 3D-моделями;
- створити бібліотеку базового навчального контенту з ключових дисциплін (;
- розробити інструментарій, що дозволяє викладачам прив'язувати власний 3D-контент до навчальних матеріалів;
- забезпечити кросплатформову сумісність та оптимізувати продуктивність для широкого спектра мобільних пристроїв.

Розглянемо ключові функціональні можливості платформи VisualEarn.

1. «Живі» підручники (Marker-Based AR). Ця функція перетворює будь-який друкований матеріал на інтерактивний. Наводячи камеру смартфона на спеціальний маркер (це може бути як QR-код, так і будь-яке унікальне зображення-ілюстрація), користувач активує AR-сцену. Застосунок розпізнає візуальний якір і миттєво накладає на нього відповідну 3D-модель. Наприклад, плоска схема двигуна внутрішнього згоряння на сторінці підручника

перетворюється на повноцінну анімовану 3D-модель, що демонструє робочий цикл поршнів. Це дозволяє студенту розглянути об'єкт з усіх боків, не відриваючись від контексту навчального тексту.

2. Інтерактивні 3D-моделі в просторі (Markerless AR). Платформа містить обширну бібліотеку високодеталізованих 3D-моделей. Завдяки технології відстеження площин, студент може розмістити будь-яку модель у своїй кімнаті в реальному масштабі. Моделі є не просто статичними об'єктами: користувач може взаємодіяти з ними – розбирати на складові частини, активувати анімації, вмикати режим «рентгену» для перегляду внутрішньої структури та отримувати інформацію з інтерактивних анотацій.

3. Симуляція динамічних та прихованих процесів. VisualEarn дозволяє візуалізувати процеси, які є невидимими для людського ока, занадто швидкими, повільними або небезпечними для реального спостереження. Студент може в доповненій реальності спостерігати за процесом фотосинтезу на клітинному рівні, візуалізувати силові лінії магнітного поля навколо провідника зі струмом тощо, змінюючи їхні параметри в реальному часі.

4. Віртуальні лабораторні роботи в AR. Цей модуль надає можливість проводити безпечні та економічно ефективні лабораторні експерименти. Студенти може, наприклад, проводити хімічні реакції титрування, не ризикуючи розлити реактиви, збирати електричні кола, не боячись короткого замикання, або тестувати закони механіки на віртуальних об'єктах.

5. Конструктор AR-сцен для викладачів. Це ключова особливість, що перетворює VisualEarn з простого переглядача контенту на гнучку освітню платформу. Викладачі отримують доступ до вебінтерфейсу, де вони можуть завантажувати власні 3D-моделі (у форматах .fbx, .obj), створювати до них анотації та анімації, а потім прив'язувати їх до зображень-маркерів зі своїх лекційних матеріалів чи підручників.

Основою платформи VisualEarn є нативні фреймворки ARKit від Apple (для iOS) та ARCore від Google (для Android). Вони забезпечують виконання ключових завдань: відстеження руху пристрою в просторі (SLAM), розпізнавання горизонтальних та вертикальних поверхонь, а також оцінку рівня освітленості для реалістичної інтеграції віртуальних об'єктів. Для розпізнавання маркерів використовуються вбудовані бібліотеки комп'ютерного зору (Computer Vision).

Розробка ведеться на базі ігрового рушія Unity. Цей вибір обґрунтований його потужними можливостями для роботи з 3D-графікою в реальному часі, вбудованою системою анімації, фізичним рушієм та, що найважливіше, можливістю компіляції проекту під обидві мобільні платформи з єдиної кодової бази, що значно прискорює та здешевлює розробку.

Процес створення навчальних моделей включає етапи моделювання, текстурування, ригінгу та анімації з використанням професійного ПЗ (Blender, Autodesk Maya). Особлива увага приділяється оптимізації моделей: зменшенню кількості полігонів та розміру текстур для забезпечення плавної роботи застосунку навіть на пристроях середнього цінового сегмента.

Для зберігання бібліотеки 3D-моделей, маркерів, анімацій та користувацьких сцен використовується хмарне сховище (наприклад, Amazon S3 або Google Cloud Storage). Це дозволяє динамічно завантажувати контент за запитом, зменшуючи початковий розмір застосунку, а також централізовано оновлювати та доповнювати навчальну базу без необхідності випускати нову версію програми в App Store та Google Play.

Інтерфейс застосунку проектується з урахуванням принципів мінімалізму та інтуїтивності. Управління об'єктами здійснюється за допомогою звичних мобільних жестів (дотик, перетягування, масштабування двома пальцями).

Таким чином, розроблена платформа VisualEarn є комплексним рішенням, що використовує передові можливості доповненої реальності для трансформації освітнього процесу. На відміну від існуючих аналогів, вона пропонує універсальний та гнучкий інструментарій як для студентів, так і для викладачів, сприяючи глибокому концептуальному розумінню матеріалу, підвищенню залученості та розвитку просторового мислення.

Перспективи подальшого розвитку проекту включають: інтеграцію з системами

управління навчанням (LMS), такими як Moodle, для автоматичного підвантаження AR-контенту до курсів; розробку багатокористувацького режиму для спільної роботи над AR-сценами в одній аудиторії; впровадження елементів штучного інтелекту для надання персоналізованих підказок та адаптації складності симуляцій під рівень знань студента.

ЧАТ-БОТИ ЯК ВІРТУАЛЬНІ АСИСТЕНТИ ВИКЛАДАЧА: МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Янішевський Віталій Іванович, аспірант кафедри комп'ютерних наук та програмної інженерії, v.yanishevskui@e-u.edu.ua¹
¹ ПВНЗ «Європейський університет»

Сучасна освіта стикається з парадоксом: в епоху цифрових технологій викладачі витрачають значну частину робочого часу на завдання, не пов'язані безпосередньо з викладанням. За даними OECD, викладацька діяльність складає в середньому лише 44% робочого часу педагогів, а решта часу витрачається на підготовку занять, оцінювання, адміністративні завдання та професійний розвиток [1]. Дослідження TALIS 2024 показує, що викладачі працюють у середньому 41 годину на тиждень, з яких приблизно 23 години припадає на безпосереднє викладання [2]. В умовах масового поширення вищої освіти та зростаючого навантаження забезпечення якісного зворотного зв'язку стає дедалі складнішим викликом.

Водночас, згідно з даними Student Academic Experience Survey 2025, 61% студентів отримують зворотний зв'язок на свої роботи протягом двох тижнів – значне покращення порівняно з 45% у 2024 році [3]. Проте студенти очікують швидкої комунікації: дослідження показують, що вони хочуть отримувати відповіді від університету протягом 24 годин [4]. Цей розрив між очікуваннями миттєвої комунікації та реальними можливостями викладачів створює напругу в освітньому процесі. Чат-боти на основі штучного інтелекту дають змогу створити потенційне рішення, що дозволяє масштабувати персоналізовану підтримку без пропорційного збільшення навантаження на викладачів.

Впровадження чат-ботів як асистентів викладача піднімає фундаментальне питання про межі автоматизації в освіті. З одного боку, технологія обіцяє вирішити проблему масштабування персоналізованої підтримки студентів. З іншого – існують обґрунтовані побоювання щодо деперсоналізації освітнього процесу, втрати людського контакту та ризиків некоректної інформації. Критичним є визначення оптимального балансу між автоматизацією та людською взаємодією.

Сучасні освітні чат-боти базуються на трьох основних технологічних підходах, кожен з яких має свої переваги та обмеження:

1. Rule-based системи працюють за принципом дерева рішень з попередньо визначеними сценаріями відповідей. Вони надійні та передбачувані у типових ситуаціях, але обмежені заздалегідь запрограмованими сценаріями. Мета-аналіз освітніх чат-ботів показав, що системи на основі правил демонструють ефективність у структурованих навчальних завданнях, таких як навігація курсом та відповіді на часті запитання, хоча їхня гнучкість залишається обмеженою порівняно з більш складними системами [6].

2. Retrieval-based моделі використовують машинне навчання та природну обробку мови для пошуку найбільш релевантних відповідей з бази знань. Систематичний огляд 36 досліджень показує, що чат-боти на основі пошуку ефективні в освітніх контекстах, де потрібна точність та послідовність відповідей, особливо у предметних областях з чітко визначеним корпусом знань. Такі системи успішно використовуються для навчання мов, де вони аналізують стандартизовані навчальні матеріали для генерації відповідей.

3. Генеративні моделі (GPT-4, Claude, Gemini) створюють унікальні відповіді, розуміючи контекст та адаптуючись до стилю спілкування. Дослідження 2024-2025 років демонструють,

що генеративні чат-боти досягають вищої природності діалогу порівняно з традиційними системами [7]. Порівняльний аналіз моделей Claude, GPT-4 та Gemini в освітньому контексті показав, що Claude та GPT-4 демонструють найвищі показники точності (83% та 81.7% відповідно) у відповідях на академічні питання, значно перевищуючи середні результати студентів [8]. Студенти оцінюють взаємодію з генеративними чат-ботами як більш природну та людиноподібну порівняно з rule-based системами, що підвищує залученість та мотивацію до навчання.

Чат-боти мають низку функціональних можливостей для застосування в освітньому процесі. Серед них можна виділити адміністративну підтримку, персоналізоване навчання, миттєвий зворотній зв'язок, емоційну підтримку та інші.

Чат-боти ефективно обробляють рутинні запити щодо розкладу, дедлайнів та вимог до завдань. Georgia Institute of Technology впровадив віртуального асистента "Jill Watson", який демонструє точність відповідей від 75% до 97% залежно від джерела контенту [9]. Новітня версія Jill Watson на базі ChatGPT значно перевершує OpenAI Assistant (78.7% проти 30.7% точності) та покращує сприйняття студентами викладацької присутності, що корелює з кращою академічною успішністю.

AI-асистенти адаптують пояснення до рівня розуміння студента. Duolingo використовує чат-боти з GPT-4 для практики розмовної мови через функції Roleplay та Explain My Answer, що створюють персоналізований досвід навчання через контекстуальні діалоги [10]. Дослідження показують, що студенти високо цінують можливість практикувати мову в безпечному середовищі без побоювання осуду, що підвищує мотивацію та залученість.

Автоматична перевірка та коментування робіт дозволяє студентам отримувати фідбек 24/7. Мета-аналіз досліджень освітніх чат-ботів показав, що технологія значно покращує навчальні досягнення, утримання знань та явне аргументування студентів. Чат-боти особливо ефективні в забезпеченні миттєвого зворотного зв'язку, що критично важливо для підтримки мотивації та самоорганізованого навчання.

Новітні чат-боти розпізнають емоційний стан студентів та адаптують відповіді. Woebot, що використовує принципи когнітивно-поведінкової терапії, продемонстрував у рандомізованому контрольованому дослідженні значне зниження симптомів депресії у студентів коледжів порівняно з контрольною групою ($p=.017$, effect size $d=0.44$) [11]. Восьмитижневе дослідження з 256 дорослими показало значне зниження стресу та вигорання, а також підвищення резилієнтності при використанні Woebot.

Практичні кейси впровадження:

Кейс 1: Arizona State University (США): ASU впровадив чат-бот "Sunny" для підтримки студентів з 2018 року. Протягом першого року роботи Sunny отримав 59,927 повідомлень від студентів з рівнем відповіді 98%, що заощадило 492 години робочого часу персоналу [12]. У опитуванні 2018 року 78% студентів визнали Sunny корисним та надійним джерелом інформації про університет. Між 2019 та початком 2020 року Sunny отримав понад 26,000 повідомлень, з яких лише 155 потребували ескалації до людських ресурсів.

Кейс 2: Georgia Institute of Technology (США): Чат-бот Jill Watson обслуговує понад 600 студентів у курсі штучного інтелекту Georgia Tech. Контрольований А/В експеримент показав, що студенти з доступом до Jill Watson демонструють кращу академічну успішність: 66% отримали оцінку А (проти 62% в контрольній групі) та лише 3% отримали С (проти 7% в контрольній групі) [13]. Дослідження також виявило покращення викладацької та соціальної присутності в онлайн-навчанні.

Чат-боти як віртуальні асистенти викладача представляють потужний інструмент оптимізації освітнього процесу. Вони здатні значно знизити адміністративне навантаження, забезпечити цілодобову підтримку студентів та персоналізувати навчальний досвід. Водночас, технологія має чіткі обмеження та потребує виваженого підходу до впровадження.

Успішна інтеграція чат-ботів вимагає не технологічного детермінізму, а людиноцентричного дизайну, де AI доповнює, а не витісняє педагогічну майстерність. Для української освіти, що трансформується в умовах цифровізації та воєнних викликів, чат-боти

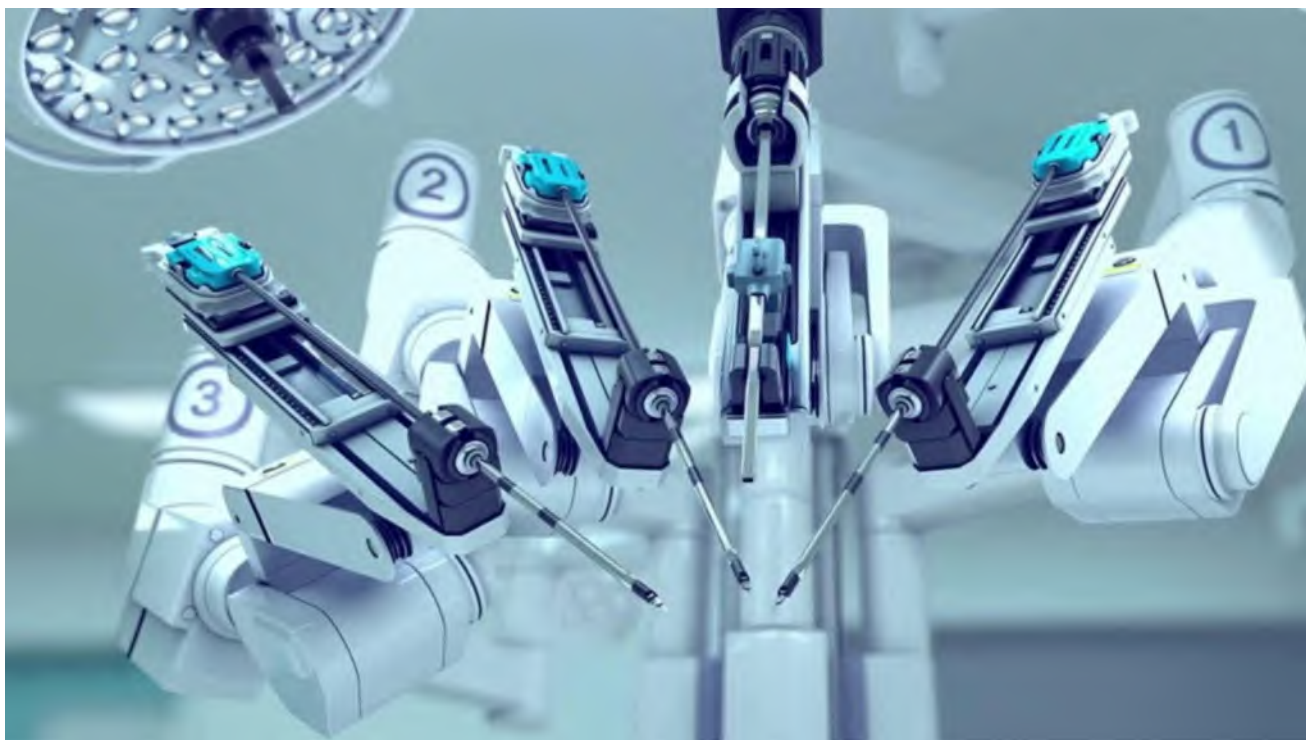
можуть стати інструментом підвищення доступності та якості освіти, за умови збереження її гуманістичної сутності.

Список використаних джерел

1. New data on salaries and working conditions of teachers in the new OECD report "Education at a Glance" / European Trade Union Committee for Education. 2020. URL: <https://www.csee-etuce.org/en/news/education-policy/3929-new-data-on-salaries-and-working-conditions-of-teachers-in-the-new-oecd-report-education-at-a-glance> (дата звернення: 10.11.2025).
2. Results from TALIS 2024: The state of teaching / OECD. Paris : OECD Publishing, 2025. URL: <https://doi.org/10.1787/90df6235-en> (дата звернення: 10.11.2025).
3. Student Academic Experience Survey 2025 / Advance HE. 2025. URL: <https://www.advance-he.ac.uk/reports-publications-and-resources/student-academic-experience-survey-saes> (дата звернення: 10.11.2025).
4. State of student recruitment 2025 / Keystone Education Group. 2025. URL: <https://www.keystoneacademic.com/news/state-of-student-recruitment-2025> (дата звернення: 10.11.2025).
5. Huang C. Y., Yang M. C., Huang C. Y., Chen Y. J., Wu M. L., Chen K. W. A meta-analysis and systematic review of the effect of chatbot technology use in sustainable education. Sustainability. 2023. Vol. 15, no. 4. P. 2940. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15042940>
6. Okonkwo C. W., Ade-Ibijola A. Chatbots applications in education: A systematic review. Computers and Education: Artificial Intelligence. 2021. Vol. 2. P. 100033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100033>
7. Kasneci E., Seßler K., Küchemann S. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. P. 102274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
8. Mavrych V., Yaqinuddin A., Bolgova O. Claude, ChatGPT, Copilot, and Gemini performance versus students in different topics of neuroscience. Advances in Physiology Education. 2025. Vol. 49, no. 2. P. 430–437. DOI: <https://doi.org/10.1152/advan.00093.2024>
9. Kakar S., Taneja K., Rao S., Guruprasad P., Lindgren R., Nguyen G., Nandula A., Zhao A., Goel A. Jill Watson: A virtual teaching assistant powered by ChatGPT. arXiv preprint arXiv:2405.11070. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2405.11070> (дата звернення: 10.11.2025).
10. Duolingo: GPT-4 deepens the conversation on Duolingo / OpenAI. 2023. URL: <https://openai.com/customer-stories/duolingo> (дата звернення: 10.11.2025).
11. Fitzpatrick K. K., Darcy A., Vierhile M. Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): A randomized controlled trial. JMIR Mental Health. 2017. Vol. 4, no. 2. P. e19. DOI: <https://doi.org/10.2196/mental.7785>
12. Kovalski K. Meet Sunny: Every ASU student's best friend. The Arizona State Press. 2019. URL: <https://www.statepress.com/article/2023/03/spmagazine-asu-sunny-automated-chatbot> (дата звернення: 10.11.2025).
13. Georgia Tech's Jill Watson outperforms ChatGPT in real classrooms / Georgia Institute of Technology. 2025. URL: <https://www.cc.gatech.edu/news/georgia-techs-jill-watson-outperforms-chatgpt-real-classrooms> (дата звернення: 10.11.2025).

BIOMEDICAL ENGINEERING

[БІОМЕДИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ]



EFFECT OF LASER SURFACE MELTING ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION RESISTANCE OF LASER POWDER BED FUSION AND WROUGHT Ti-6Al-4V ALLOYS IN SIMULATED BODY

Bogdan Efremenko, PhD, efremenko_b_v@pstu.edu¹

Angeliki Lekatou, Professor, PhD²

Yuliia Chabak, Professor, PhD, chabak_y_g@pstu.edu¹

Vaia Sarika, PhD student²

Ivan Sili, PhD, sili_i_i@pstu.edu¹

¹ Pryazovskyi State Technical University

² Ioannina University (Ioannina, Greece)

Ti-6Al-4V is a leading biomedical alloy increasingly produced via additive manufacturing, particularly laser powder bed fusion (LPBF). However, rapid thermal cycling and steep temperature gradients during LPBF induce residual stresses, microstructural anisotropy, and reduced corrosion resistance, limiting implant durability. To mitigate these issues, laser surface melting (LSM) is applied as a post-processing technique to refine surface microstructure and enhance mechanical and electrochemical properties. This study investigates the influence of LSM on the microstructure, microhardness, and corrosion behavior of both LPBF and wrought Ti-6Al-4V in simulated body fluid (SBF) at 37 °C, mimicking physiological conditions. LSM treatment generated modified surface layers with thicknesses of 1250-1350 μm in LPBF samples (Fig. 1) and 1530-1600 μm in wrought counterparts. These layers exhibited a distinct structural gradient: a thin remelted dendritic zone (tens of micrometers) at the top, transitioning into coarse acicular structures, and finally fine acicular α' martensite near the heat-affected boundary. Microhardness within the melted zone increased significantly to 655-680 HV, compared to baseline values of ~ 350 -400 HV, due to multiple strengthening mechanisms: lattice parameter expansion from oxygen interstitial dissolution, crystallite refinement, elevated dislocation density, and formation of aluminum silicate surface oxides originating either from in-process oxidation of aluminum or residual sandblasting particles.

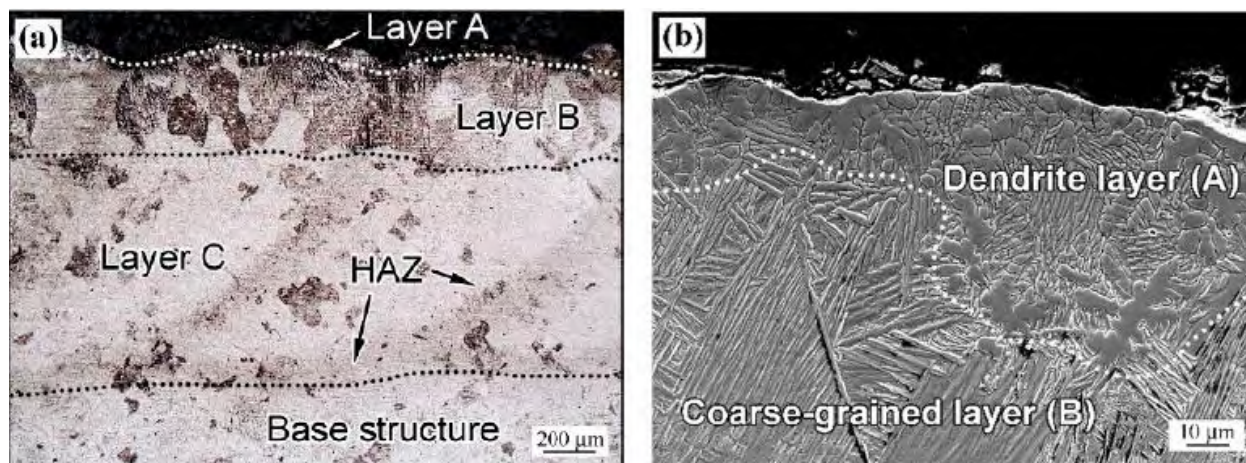


Figure 1 – Microstructure of laser-melted layer of the LPBF sample: (a) total view, (b) sub-surface modified layer with dendritic structure.

Despite these mechanical benefits, LSM-treated specimens demonstrated higher corrosion rates and less stable passive films than untreated controls. This deterioration is attributed to several LSM-induced factors: increased surface roughness promoting crevice initiation sites, enhanced martensite formation creating galvanic microcells with retained β -phase in interdendritic regions, elevated compressive residual stresses, lattice microstrain, and microstructural heterogeneity between dendritic martensite and oversaturated β -Ti. Additionally, aluminum silicate surface films containing trace iron acted as weak points, facilitating chloride ion penetration and hydrolysis, thus compromising passivity.

Raman spectroscopy supported by energy-dispersive X-ray analysis revealed that post-polarization surface films were predominantly composed of TiO₂ polymorphs, with rutile as the dominant phase. Minor hydrated aluminum silicates – primarily kaolin-type, with traces of muscovite (mica) and montmorillonite (smectite) – were detected, particularly in rough topographic zones of LSM-LPBF samples. Nevertheless, both LSM-LPBF and LSM-wrought alloys maintained excellent electrochemical performance, exhibiting very low corrosion current densities on the order of 10⁻⁴ mA/cm², true passivity in the range of 10⁻³...10⁻⁴ mA/cm², and no breakdown up to +1000 mV vs. Ag/AgCl, indicating high resistance to localized corrosion. The protective behavior is largely due to the extensive formation of rutile-rich TiO₂ films. Comparative analysis showed that LSM-LPBF specimens had slightly inferior general corrosion resistance compared to LSM-wrought ones, primarily due to pronounced surface relief with alternating smooth and rough zones, greater phase and chemical composition variations, and higher levels of microstrain and dislocation density inherent to the LPBF process and amplified by LSM. Sandblasting with aluminum silicate media, often used as a final surface preparation, must be followed by rigorous cleaning to remove oxide residues, which are highly susceptible to chloride attack and hydrolytic degradation. In conclusion, while LSM significantly improves surface hardness through martensitic transformation and defect hardening, it introduces trade-offs in corrosion performance due to topographical, microstructural, and compositional changes. Both LSM-treated variants remain suitable for biomedical applications given their robust passivity and pitting resistance in SBF, but wrought Ti-6Al-4V retains a slight advantage. Optimized LSM parameters and post-treatment cleaning protocols are recommended to balance mechanical enhancement with electrochemical stability in additively manufactured titanium implants.

Acknowledgments:

This research was funded by the Ministry of Education and Science of Ukraine within the project 0123U101834.

Reference

1. Lekatou, A.G.; Sarika, V.; Efremenko, B.; Chabak, Y.; Efremenko, V.; Petrišinec, I.; Emmanouilidou, S.; Tsirka, K. Effect of Laser Surface Melting on the Microstructure and Corrosion Resistance of Laser Powder Bed Fusion and Wrought Ti-6Al-4V Alloys. *Coatings*, 2025, 15, 1285.
<https://doi.org/10.3390/coatings15111285>

ULTRASOUND NEUROMODULATION IN THE TREATMENT OF NEURODEGENERATIVE DISORDERS

Polupanova Tetiana, second year student of the Faculty of Medicine,
tetiana.polupanova@stud.lsmu.lt¹

¹Academy of Medicine Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

Ultrasound therapy is a non-invasive medical treatment which uses high frequency soundwaves to penetrate soft tissues. For the past decade ultrasound has shown evidence to open new horizons for brain therapies including treatment of patients with neuralgia, clinical neuromodulatory brain stimulation in treatment of Alzheimer's disease and focal blood-brain barrier opening [1]. Up to date, popularity of ultrasound neuromodulation techniques has been steadily increasing due to the ability of such techniques to precisely target deep brain structures, benefiting with high special resolution, relatively low cost and high safety profile [2]. Techniques such as Focused Ultrasound Blood-Brain Barrier opening, Low-Intensity focused ultrasound and High Intensity focused ultrasound are of most interest when accessing the usefulness of supersonic neuromodulation in treating patients with neurodegenerative conditions due to their strongest evidence base and active clinical translation. Principles Focused ultrasound uses concave transducers that have a single geometric focus or use phased arrays to steer acoustic waves, thus increasing their power in order to induce mechanical or thermal effects. To reduce intensity of ultrasound or to reduce avoidance of thermal effects or

irreversible neuronal damage, intravenously-injected albumin-coated, octafluoropropane-filled microbubbles which are usually used to enhance blood vessels on clinical ultrasound, may be used.[3] One of the main targets of this method is blood-brain barrier- a structure made up of tightly-bound endothelial cells which acts as a protectant between systemic circulation and central nervous system, not allowing substances to pass from blood to brain and spinal cord. Even though this structure is vital for aseptic state of nervous system, it also complicates drug administration, as most medication fails to penetrate the barrier. By Focused Ultrasound Blood-Brain Barrier opening, this process may be facilitated, allowing easier treatment for disorders requiring passage of the blood-brain barrier.

Focused ultrasound maybe divided by intensity: high intensity being over 200 W/cm^2 , while low intensity- under 100 W/cm^2 .[4] While high-intensity focused ultrasound causes thermal damage and is used mainly in ablative procedures, low-intensity focused ultrasound has less destructive effect, so is mostly used in neuromodulative procedures such as enhanced drug delivery and pain therapy.

The usage of Focused ultrasound technique has shown success in treatment and diagnosis of patients with multiple neurodegenerative diseases: studies have shown, that repeated Blood-Brain Barriers opening in cortical and deep brain locations in Alzheimer's disease using Focused Ultrasound not only demonstrated reduction in beta-amyloid plaques, but also showed no cognitive worsening or disease progression, suggesting safety of this technique [5]. Moreover, when used combined with Magnetic resonance imaging, Focused Ultrasound has shown success in performing cerebral ablations for treatment of Parkinson's Disease, where patients have shown improved tremor control [6]. MR-guided focused ultrasound has also been used in order to permeabilize the blood-brain barrier for drug delivery in patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis- the procedure showed success in the barrier opening, as well as was well-tolerated and showed no serious adverse effects providing a promising therapeutic prognosis for Amyotrophic Lateral Sclerosis treatment [7]. Additionally, muscle ultrasound can facilitate diagnosing of Amyotrophic Lateral Sclerosis by detecting fasciculation occurrence as well as decreased muscle thickness and increased echo intensity [8], which are characteristic for denervation in Amyotrophic Lateral Sclerosis.

As for any newly developed technology, Focused Ultrasound raises concerns relating to the safety and efficacy of its application. While many studies show significant positive effect on the treatment of neurodegeneration with ultrasound, some suggest the opposite- it was proposed that using Transcranial Focused Ultrasound on animals provoked neurodegenerative processes in the affected by ultrasound brain areas, while other parts remained normal, however it remains to be studied if there is any other cause for this unwanted effect[9]. Additionally, it is yet to be determined if application of Focused Ultrasound techniques can outperform current neurosurgical intervention techniques in effectiveness [10]. Even though many studies propose no adverse effects in focus ultrasound use, the complete safety picture is not yet clear and needs more trials to be proven safe.

There are many fields in neuroscience where focused ultrasound may reach its full potential- it has been suggested, that Transcranial MR-guided Focused Ultrasound may be useful in excitement and inhibiting targeted clusters of neurons to modulate nerve conduction, treat drug-resistant trigeminal neuralgia and epilepsy, promote neuroplasticity and non-invasively map the cerebral cortex, while pulsed focused ultrasound has been used to determine a mechanical reduction of iatrogenic lesion in rats, suggesting it's effective use in the treatment of chronic neurotic pain [11]. Solely the effectiveness of ultrasound in allowing medication to pass blood-brain barrier opens opportunities in treatment of Alzheimer's disease, along with other major neurodegenerative disorders, which increase in numbers every day.

Although still a developing field, focused ultrasound is gradually gaining application in the treatment of neurodegenerative diseases. What sets this technology apart is its ability to reach deep brain structures without open surgery, while also influencing neural circuits or loosening the blood-brain barrier when needed for drug delivery. Early work in conditions such as Alzheimer's disease, Parkinson's disease, and Amyotrophic Lateral Sclerosis suggests that the technique can be applied safely and might offer clinical benefits, even if the long-term picture is not yet fully understood. At the same time, the method is not free of uncertainties as we still lack clear answers about the durability of its effects, the ideal treatment settings, and how it truly compares with more established approaches.

As research shows, it is likely that the technology will evolve and find more precise roles in neurological disorders treatment. For now, Focused Ultrasound stands as a promising direction that may eventually provide new options for patients whose conditions remain difficult to treat.

References

1. R. Beisteiner, M. Hallett, A. M. Lozano, Ultrasound Neuromodulation as a New Brain Therapy. Adv. Sci. 2023, 10, 2205634. <https://doi.org/10.1002/adv.202205634>
2. Sarica, C., Pope, R., Cho, H., Castellanos, F. X., & Pauly, K. B. (2022). Human studies of transcranial ultrasound neuromodulation. Brain Stimulation, 15(6), 1669–1685. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.08.008>
3. Konofagou E. E. (2012). Optimization of the ultrasound-induced blood-brain barrier opening. Theranostics, 2(12), 1223–1237. <https://doi.org/10.7150/thno.5576>
4. Zhong, Y. X., Liao, J. C., Liu, X., Tian, H., Deng, L. R., & Long, L. (2023). Low intensity focused ultrasound: a new prospect for the treatment of Parkinson's disease. Annals of Medicine, 55(2). <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2251145>
5. Rezai, A. R., Ranjan, M., Haut, M. W., Carpenter, J., D'Haese, P., Mehta, R. I., Najib, U., Wang, P., Claassen, D. O., Chazen, J. L., Krishna, V., Deib, G., Zibly, Z., Hodder, S. L., Wilhelmsen, K. C., Finomore, V., Konrad, P. E., Kaplitt, M., & for the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2023). Focused ultrasound-mediated blood-brain barrier opening in Alzheimer's disease: long-term safety, imaging, and cognitive outcomes. Journal of Neurosurgery, 139(1), 275-283. <https://doi.org/10.3171/2022.9.JNS221565>
6. Moosa, S., Martínez-Fernández, R., Elias, W.J., del Alamo, M., Eisenberg, H.M. and Fishman, P.S. (2019), The role of high-intensity focused ultrasound as a symptomatic treatment for Parkinson's disease. Mov Disord, 34: 1243-1251. <https://doi.org/10.1002/mds.27779>
7. Abrahao, A., Meng, Y., Llinas, M. et al. First-in-human trial of blood-brain barrier opening in amyotrophic lateral sclerosis using MR-guided focused ultrasound. Nat Commun 10, 4373 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12426-9>
8. Hobson-Webb, L.D. and Simmons, Z. (2019), ULTRASOUND IN THE DIAGNOSIS AND MONITORING OF AMYOTROPHIC LATERAL SCLEROSIS: A REVIEW. Muscle Nerve, 60: 114-123. <https://doi.org/10.1002/mus.26487>
9. AP Brna, O Favorov, T Challener, AO Biliroglu, FY Yamaner, RE Kemal, M Annayev, OOralkan, D Eidum, SB Simons, MP Weisend, PM Connolly bioRxiv 2025.09.23.674044; doi: <https://doi.org/10.1101/2025.09.23.674044>
10. Piper, R. J., Hughes, M. A., Moran, C. M., & Kandasamy, J. (2016). Focused ultrasound as a non-invasive intervention for neurological disease: a review. British Journal of Neurosurgery, 30(3), 286–293. <https://doi.org/10.3109/02688697.2016.1173189>
11. Giammalva, G. R., Gagliardo, C., Marrone, S., Paolini, F., Gerardi, R. M., Umana, G. E., Yağmurlu, K., Chaurasia, B., Scalia, G., Midiri, F., La Grutta, L., Basile, L., Gulì, C., Messina, D., Pino, M. A., Graziano, F., Tumbiolo, S., Iacopino, D. G., & Maugeri, R. (2021). Focused Ultrasound in Neuroscience. State of the Art and Future Perspectives. Brain Sciences, 11(1), 84. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010084>

СУЧАСНИЙ СТАН НАНОСТРУКТУРНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Азархов Олександр Юрійович, професор, докт. мед. наук, професор кафедри біомедичної інженерії, azarhov_a_y@pstu.edu¹

Сілі Іван Іванович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії, sili_i_i@pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Впровадження наноструктур у біосенсиори може забезпечити суттєві переваги, притаманні нано рівню, а саме здатність перетворювати інформацію на молекулярному рівні, підсилювати слабкі сигнали, скорочувати час відгуку та здійснювати безперервний моніторинг змін стану здоров'я [1]. Ці переваги зумовлені високим співвідношенням площі поверхні до об'єму, що

підсилює молекулярні взаємодії в межах заданого розміру пристрою, а також високою чутливістю оптичних, електронних, механічних або міжфазних властивостей наноструктур.

Використання наноструктурних сенсорів у біомедицині свідчить про постійну потребу подолати розрив між інженерними досягненнями у сфері сенсорних компонентів та новими клінічними вимогами [2]. Щоб отримати об'єктивне уявлення про значущість нанорівневих сенсорів для сучасної охорони здоров'я, наукові та інженерні переваги, що надає «нанорівень», їх слід розглядати у контексті потреб клінічних і промислових користувачів.

Прогнозування ризику захворювання пацієнта дає змогу завчасно вживати профілактичних заходів, щоб уникнути розвитку самої хвороби. Це може здійснюватися, наприклад, за допомогою сенсорів, призначених для виявлення епігенетичних факторів, що свідчать про ризик захворювання. У разі виникнення хвороби рання діагностика є важливим засобом підвищення ймовірності успішного лікування для багатьох недуг, зокрема раку, інфекційних та серцево-судинних захворювань. Для онкологічних захворювань раннє виявлення потребує здатності визначати пухлинні маркери на рівні концентрацій, нижчих за пікограм на мілілітр, що вимагає сенсорів із надвисокою чутливістю.

Крім того, прогностична цінність скринінгових тестів підвищується при визначенні концентраційного профілю кількох пухлинних маркерів, а не лише одного. Це потребує мультиплексованих сенсорних систем із великим динамічним діапазоном і здатністю долати значні перешкоди, зумовлені складною сумішшю білків, вуглеводів і ліпідів, що містяться у високих концентраціях у біологічному середовищі.

In vitro сенсори для біомедицини мають доволі різноманітний профіль, який виходить за межі традиційної *in vitro* діагностики (*in vitro diagnostics IVD*), призначеної для виявлення хвороб, патологічних станів чи інфекцій. Вони також застосовуються як інструменти для прогнозування ефективності лікарських засобів або факторів росту у відновній терапії, для відкриття нових ліків і біомаркерів, а нещодавно – і в доказовій косметології.

Сфера IVD домінує на ринку діагностики, причому її найшвидше зростаючим сегментом є молекулярна діагностика (MDx). MDx включає діагностичні тести, що виявляють білки або генетичні маркери, які свідчать про наявність чи стан захворювання. Світовий ринок молекулярної діагностики становить приблизно 7,5 мільярда доларів США, при цьому провідний внесок забезпечують сегменти інфекційних і онкологічних захворювань.

Оптичні та електронні сенсори, що з'явилися останнім часом, дедалі більше орієнтовані на задоволення як клінічних, так і промислових потреб. Однією з важливих сучасних тенденцій є розвиток плазмонних сенсорів, які використовують здатність металевих наноструктур діяти як антени для приймання та фокусування світла у ближньому полі. Це суттєво підсилює відповідні механізми чутливості, зокрема ті, що базуються на змінах показника заломлення у локалізованому плазмонному резонансі поверхні (LSPR), поверхнево підсиленій раманівській спектроскопії (SERS) та металопідсиленій флуоресценції (MEF) [3].

Сенсори LSPR можна легко адаптувати для використання у пристроях біля ліжка пацієнта (Point of Care, POC) або на мобільних платформах [4], оскільки факт зв'язування проявляється як зміщення положення або інтенсивності плазмонного піку, що можна реалізувати за допомогою мініатюризованих джерел світла та спектрометрів.

Мікромасиви LSPR можуть застосовуватися для мультиплексування та моніторингу кінетики біологічних взаємодій і вже продемонстрували перспективність у визначенні біомаркерів і клітин у складних середовищах. Нещодавно було продемонстровано [4] два оптичні біосенсорні підходи, які використовують світло, захоплене всередині мікрорезонаторів, для значного підвищення чутливості аналізів.

Перший приклад стосується сенсора на основі так званого режиму *whispering gallery mode*, чутливість якого додатково підвищується завдяки плазмонному збудженню, що дає змогу досягти межі виявлення, достатньої для спостереження навіть одиної події гібридизації 8-мірного олігонуклеотиду. Цікавим аспектом цієї платформи є можливість обійти потребу у постійному закріпленні молекул на поверхні сенсора та працювати з тимчасовими подіями зв'язування.

Наноструктурні сенсори мають на меті зробити глибокий вплив на біомедичну галузь і позитивно змінити стан охорони здоров'я впродовж наступного десятиліття. Поточна ситуація у сфері досліджень і розробок демонструє поступову тенденцію до створення діагностичних пристроїв із фокусом на персоналізованій та відновній медицині, а також до розвитку сенсорних технологічних платформ із модульною архітектурою, багатофункціональністю та здатністю адаптуватися до різних кінцевих застосувань (Point of Care, носимі або імплантовані пристрої тощо). Ця галузь продовжує бути свідком появи нових і перспективних концепцій, а також клінічних застосувань уже відомих технологій, формуючи конкурентний простір, відкритий для проривних інновацій.

Досягнення, що використовують нанорівневі явища для встановлення зв'язку між біологічними реакціями молекул і клітин, потребують подальшого розвитку технологій контролю наномасштабних процесів аж до молекулярного рівня. Це створює складні виклики, особливо з огляду на необхідність балансування між суперечливими вимогами, притаманними цьому масштабу, і потребою розробляти індивідуалізовані рішення, цінні для конкретних кінцевих застосувань.

Список використаних джерел

1. Rusling J.F., Kumar C.V., Gutkind J.S., Patel V. Measurement of biomarker proteins for point-of-care early detection and monitoring of cancer // *Analyst*. – 2010. – Vol. 135. – P. 2496–2511.
2. Аналіз сучасних тактильних датчиків та можливості їх застосування у біоінженерії / Азархов О.Ю., Сілі І.І. // Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 125-річчю ювілею Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (13-14.12.2023, м. Київ) : ел.збірник / Упоряд.: О.І. Голембіовська – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – с 33.
3. Speicher M.R., Pantel K. Tumor signatures in the blood // *Nature Biotechnology*. – 2014. – Vol. 32. – P. 441–443.
4. Сучасний стан у виробництві 3D-друкованих біосенсорів методом DLP / Азархов О.Ю., Яворський О.В., Сілі І.І. // Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали III міжнародної науково-технічної конференції 08–10 травня 2024 р. Нац. ун-т «Одеська політехніка» / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої [Електронний ресурс] . – Вінниця : ВНТУ, 2024. – с. 131 – 133. ISBN 978-617-8163-08-2.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАТЧИКІВ LM35 ТА DHT11 У МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМАХ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Горб Ігор Юрійович студент групи BMI-24-M, horb_i_y@students.pstu.edu¹,
Азархов Олександр Юрійович, професор, докт. мед. наук, професор кафедри
біомедичної інженерії, azarhov_a_y@pstu.edu¹
¹ДВНЗ «Приазовський Державний Технічний Університет»

Мікропроцесорні системи біомедичного призначення широко застосовуються для моніторингу стану пацієнта, керування лікувально-діагностичним обладнанням та реалізації носимих/імплантованих пристроїв. Одним із ключових параметрів, що підлягає контролю, є температура тіла, від точності вимірювання якої залежить своєчасність діагностики, коректність дозування лікарських засобів та безпечна робота медичної апаратури. У сучасних біомедичних застосуваннях вимагається мала похибка (до десятих часток градуса), висока роздільна здатність, низьке енергоспоживання та стійкість до коливань живлення, особливо для носимих та імплантованих пристроїв.

У мікроелектроніці для вимірювання температури використовують різні типи сенсорних елементів – біполярні транзистори, MOS-транзистори, резистивні структури та електротермічні фільтри. Кожен із підходів має свої переваги щодо енергетичної ефективності, точності, діапазону температур та складності калібрування. У практичних мікропроцесорних системах

біомедичного призначення часто застосовують готові інтегральні датчики температури, які поєднують сенсорний елемент, підсилювально-перетворювальну частину та інтерфейс до мікроконтролера в одному корпусі. До таких відносяться аналогові датчики на зразок LM35 та цифрові комплексні датчики на зразок DHT11.

LM35 являє собою інтегральний прецизійний аналоговий датчик температури з лінійною вихідною характеристикою типу «напруга–температура». Типове перетворення становить 10 мВ/°С, що спрощує перерахунок у мікропроцесорі за допомогою АЦП. Діапазон вимірювання охоплює приблизно від -55 °С до +150 °С, а у робочому діапазоні, близькому до температури тіла, забезпечується похибка порядку кількох десятих градуса за умови коректного калібрування та термостабільного монтажу. Архітектурно LM35 базується на напівпровідникових структурних елементах, які дозволяють досягати високої роздільної здатності при відносно малому споживанні енергії.

DHT11 є малобюджетним цифровим сенсором, який поєднує вимірювання температури та відносної вологості. Температура вимірюється у відносно вузькому діапазоні 0...50 °С, а типовою є похибка близько ± 2 °С. Передача даних відбувається за однопровідним цифровим протоколом, що мінімізує кількість ліній введення-виведення мікроконтролера та спрощує електричну схему. Вбудована оцифровка дозволяє уникнути використання окремого АЦП, проте обмежує швидкодію (низька частота опитування) та точність вимірювань порівняно з прецизійними аналоговими сенсорами.

Порівняльний аналіз LM35 та DHT11 у контексті біомедичних мікропроцесорних систем показує, що ключовими критеріями вибору є точність, роздільна здатність, енергоспоживання, інтерфейс до мікроконтролера, а також наявність додаткових функцій (вимірювання вологості). Для завдань клінічного або наближеного до клінічного контролю температури тіла, де бажано забезпечити похибку менше 0,2 °С та високу роздільну здатність, LM35 є більш придатним рішенням. Його аналоговий вихід дозволяє реалізувати гнучкі схеми фільтрації та калібрування, а ширший діапазон температур забезпечує універсальність застосування, зокрема для вимірювання температури корпусу обладнання або робочого середовища.

DHT11 доцільно використовувати в недорогих портативних або домашніх системах моніторингу, де критичність до точності вимірювання температури нижча, але важливим є одночасний контроль мікроклімату (температура та вологість) і простота інтеграції з мікроконтролером. При цьому слід враховувати обмеження щодо швидкості оновлення даних та відносно високу похибку, що робить DHT11 малоприматним для точного моніторингу температури тіла у медичних пристроях.

Таким чином, у мікропроцесорних системах біомедичного призначення датчик LM35 доцільно розглядати як базовий елемент для точного вимірювання температури з можливістю побудови високоточних, енергоефективних рішень за умови правильної калібровки та термостабільного монтажу. Датчик DHT11 може виконувати допоміжну роль у системах, де необхідний комплексний контроль параметрів довкілля, але вимоги до точності вимірювання температури є помірними. Отримані результати порівняльного аналізу можуть бути використані для обґрунтування вибору датчика при проектуванні мікропроцесорних біомедичних систем, зокрема носимих моніторів стану пацієнта, інтелектуальних медичних пристроїв та навчально-лабораторних стендів.

Список використаних джерел

1. Pan S., Makinwa K. A. A. Resistor-based Temperature Sensors in CMOS Technology. – Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – 153 p.

ПОВЕРХНЕВЕ ЛАЗЕРНЕ ГАРТУВАННЯ ПОРОШКОВОЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ ЗІ СТРУКТУРОЮ «МАТРИЦЯ - КАРБІД (МС, М₇С₃, М₆С)»

Єфременко Богдан Васильович, канд. техн. наук, доцент, efremenko_b_v@pstu.edu¹

Чабак Юлія Геннадіївна, докт.техн.наук, професор, chabak_y_g@pstu.edu¹

Барма Євген Анатолійович, аспірант,

Ковбасюк Тарас Михайлович, канд. техн. наук, доцент²

Віктор Пухі, PhD³

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,

² Національний університет «Львівська політехніка»,

³ Institute of Materials Research of Slovak Academy of Science (Кошице, Словаччина)

Зростаючі вимоги до підвищення зносостійкості та експлуатаційної надійності інструменту стимулював розвиток передових стратегій поверхневого інжинірингу високолегованих інструментальних сталей останнього покоління, таких як Böhler K390 MICROCLEAN. Ця високованадієва Cr-Mo-V-W сталь виготовляється методом порошкової металургії і призначена для інструменту холодного деформування. У вихідному стані (BC) вона має високу ударну в'язкість завдяки композитній мікроструктурі, що складається з феритної матриці, в якій рівномірно розподілено 35-37 % зернистих карбідів (включаючи великі карбіди ванадію (VC) та дрібніші карбіди М₇С₃, М₆С, МС), та залишкового аустеніту (ЗА) в кількості ~7%. Стандартна об'ємна термічна обробка (аустенітизація при 1180 °C (1 год), гартування в олії, потрійний відпуск при 500 °C) перетворює матрицю на відпущений мартенсит, розчиняє частину карбідів і підвищує вміст ЗА ~18%. Це підвищує поверхневу твердість сталі K390 до ≥ 700 HV. Проте, навіть в такому структурному стані поверхня сталі деформується при екстремальних контактних навантаженнях.

В даній роботі досліджено вплив лазерної поверхневої обробки (ЛПО) без оплавлення на мікроструктуру та властивості сталі K390 як у вихідному стані (поставки), так і після об'ємної термічної обробки (ТО). Поверхню обробляли лазером потужністю 400 Вт зі швидкістю сканування 30 мм/с (діаметр лазерного променя – 0,6 мм, перекриття доріжок – 30 %). Сканування високоенергетичним променем призвело до швидкого нагріву приповерхневої ділянки до температур аустенітизації, без утворення ванни розплаву. Дрібні карбіди частково розчинились, збагачуючи матрицю вуглецем та легуючими елементами. Самогартування за рахунок теплопровідності в підкладку сформувало модифікований шар товщиною ~250 мкм, що складається з голчастого мартенситу, пересиченого вуглецем (1,2-1,44 мас.% проти номінальних ~0,8%), із нанорозмірними кристалітами (до 8,3 нм); при цьому різко збільшилась кількість ЗА (38% в BC+ЛПО, 54% в ТО+ЛПО) (рис. 1). Густина дислокацій зросла до $6,4 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ – $2,6 \times 10^{15} \text{ м}^{-2}$. EBSD-дослідження та аналіз Вільямсона-Холла (після рентгенівської дифракції) підтвердили сильне спотворення ґратки та подрібнення зерна. Грубі частинки VC залишились переважно нерозчиненими, вони виявились оточеними безструктурною сумішшю ультрадисперсного мартенситу та залишкового аустеніту. Попередня об'ємна ТО показала свою критичну важливість, оскільки забезпечили глибше насичення матриці вуглецем при лазерній обробці.

Після ЛП мікротвердість значно зросла: з 332 HV₂₀ (BC) та 778 HV₂₀ (ТО) до 700-763 HV₂₀ (BC+ЛПО) та 835-890 HV₂₀ (ТО+ЛПО) (зростання на 160% порівняно з BC) (рис. 2). В результаті ЛПО на поверхні сталі K390 сформувалась функціонально градієнтна мікроструктура: «наноструктурований мартенсит + значна кількість ЗА + VC» (біля поверхні) → «мартенсит, збагачений вуглецем + VC» (підповерхневий шар) → «в'язкий відпущений мартенсит» (необроблена основа). Цей градієнт (від надтвердої поверхні до в'язкої мартенситної серцевини) відповідає умовам роботи інструменту холодного деформування: зносостійкий поверхневий шар та тріщиностійка основа.

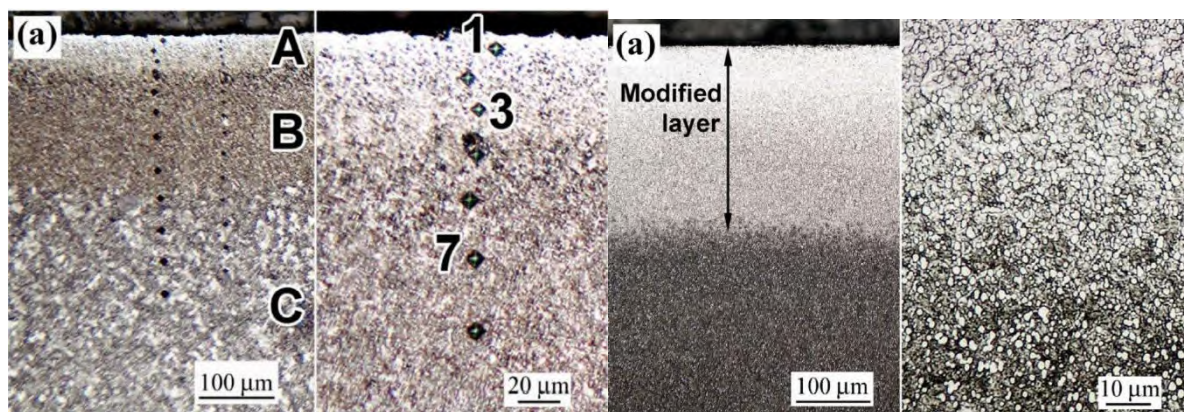


Рисунок 1 – Мікроструктура лазерно-оброблених зразків: (а) ВС+ЛПО, (б) ТО+ЛПО [1].

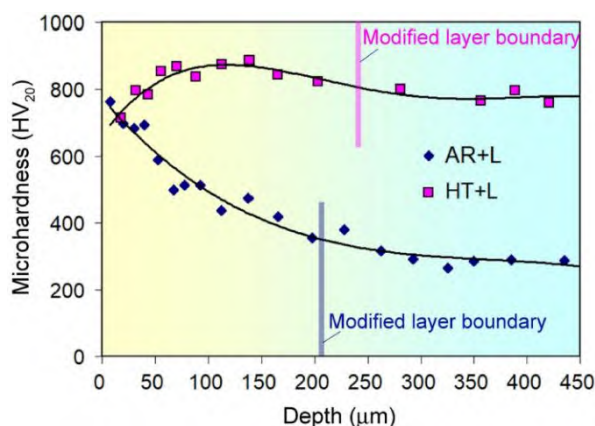


Рисунок 2 – Розподіл мікротвердості по перетину лазерно-гартованого шару [1].

Випробування на сухе тертя ковзанням за схемою «Ball-on-disc» (контр-тіло – кулька Al_2O_3 , навантаження – 10 Н, шлях тертя – 500 м) показують, що суміщення об'ємної ТО та ЛПО призвело до зменшення об'ємного зносу у 3,94 рази порівняно зі станом ВС, при цьому коефіцієнт тертя знизився з $\sim 0,65$ до $\sim 0,45$. Після ЛПО режим зносу змінився з абразивного пошкодження із викришуванням карбідів (при ВС) на зношування утворенням тонкого захисного оксидного трибошару з його поступовим відшаровуванням та самовідновленням, що мінімізувало пошкодження матриці (при ЛПО).

Високий вміст залишкового аустеніту відігравав подвійну позитивну роль: (1) аустеніт сприяв дисипації енергії через деформаційне мартенситне перетворення при зношуванні, що затримувало зародження тріщин; (2) перетворення аустеніту на мартенсит деформації сприяло зміцненню поверхні, що зменшувало адгезію. У поєднанні з високовуглецевим мартенситом, підвищений вміст залишкового аустеніту сприяв досягненню високої зносостійкості. Застосування ЛПО є більш доцільним до об'ємно термообробленої сталі, тому що забезпечує досягнення більш високої зносостійкості. Ця двостадійна обробка (стандартна об'ємна HT + фінальне безоплавна ЛПО) не потребує спеціального обладнання, окрім промислових волоконних лазерів. Вона забезпечує: (а) подовження терміну служби інструменту при штампуванні, вирубці та тонкій вирубці, (б) скорочення простоїв через сколювання/задирання, (в) підвищення стійкості інструменту завдяки довшим інтервалам між перешліфовкою чи заміною.

Подяка:

Дослідження виконувалось в рамках держбюджетної НДР молодих вчених (проект 0125U001980), фінансованої Міністерством освіти і науки України.

Список використаних джерел

1. Chabak Y., Efremenko V., Barma Y., Petrišinec I., Efremenko B., Kromka F., Sili I., Kovbasiuk T. Enhancing Dry-Sliding Wear Performance of a Powder-Metallurgy-Processed “Metal Matrix–Carbide” Composite via Laser Surface Modification. Eng, 2025, 6, 313. <https://doi.org/10.3390/eng6110313>.

АРХІТЕКТУРНІ ВИМОГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ ПРИ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕНЕРАТИВНИХ AI-СЕРВІСІВ З МЕДИЧНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ НА БАЗІ СТАНДАРТУ HL7 FHIR

Котов Ярослав Андрійович, аспірант кафедри біотехнічних систем,
kotov2010731@gmail.com¹,

Яворська Євгенія Богданівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем, yavorska_eb@tntu.edu.ua¹

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна

Традиційний процес збору суб'єктивного анамнезу пацієнта є часозатратним етапом клінічної діагностики, що обмежує час лікаря на прийняття рішень. Поява великих мовних моделей (LLM) та генеративного штучного інтелекту (GenAI) відкриває можливості для автоматизації цього процесу, дозволяючи пацієнтам надавати детальну інформацію про симптоми до початку прийому. Однак, пряма інтеграція таких сервісів (наприклад, ChatGPT) з медичними інформаційними системами (МІС) стикається з фундаментальними викликами у сферах інтероперабельності, безпеки даних та нормативної відповідності [1].

Метою даного дослідження є визначення ключових архітектурних вимог та ідентифікація головних обмежень для створення безпечного та інтероперабельного шлюзу між пацієнтськими чат-інтерфейсами, сторонніми GenAI-сервісами та клінічними МІС на основі стандарту HL7 FHIR.

Для досягнення мети було проведено аналіз сучасних підходів до інтеграції медичних систем, вимог стандартів безпеки (напр., HIPAA, GDPR), а також можливостей стандарту HL7 FHIR для представлення суб'єктивних даних пацієнта. На основі аналізу розроблено концептуальну сервіс-орієнтовану архітектуру (SOA) [2], що придатна для практичної реалізації з використанням сучасних технологічних стеків (напр., Node.js, Flowise).

В результаті дослідження визначено наступні ключові архітектурні вимоги, візуалізовані на рис. 1.

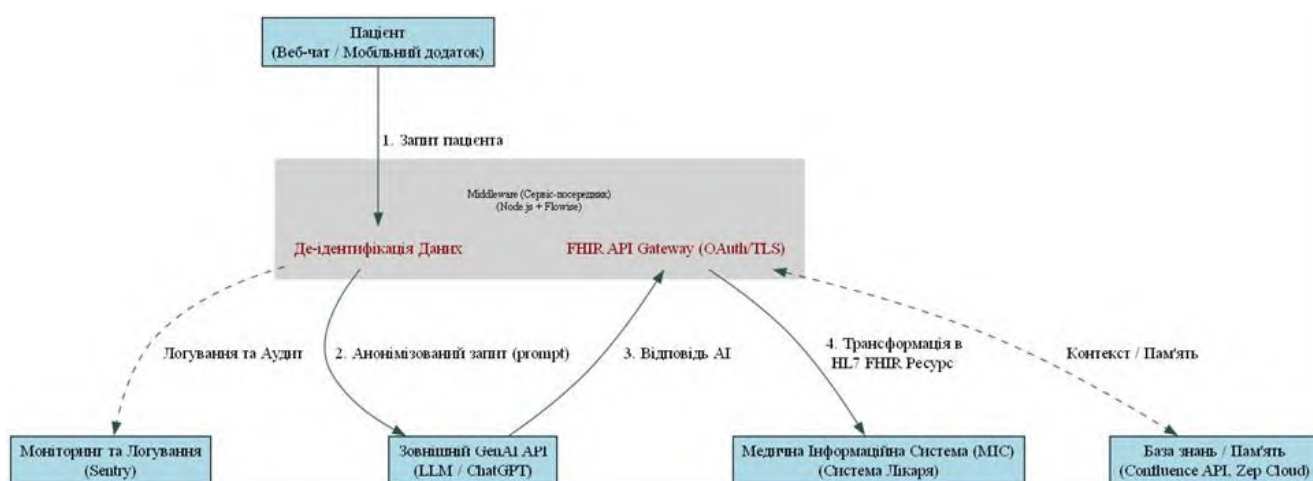


Рисунок 1 – Концептуальна архітектура інтеграції GenAI та МІС

Деталізація архітектурних вимог

1. Створення сервісного-посередника (Middleware). Пряме підключення клієнтського додатка (чату пацієнта) до GenAI API та МІС є неприпустимим з точки зору безпеки. Необхідне впровадження проміжного шару (API Gateway), реалізованого, наприклад, на Node.js з використанням інструментів оркестрації, як Flowise. Цей шар виступає єдиною точкою входу та виконує критичні функції: автентифікацію клієнта, валідацію вхідних даних, оркестрацію запитів (до GenAI, баз знань, МІС) та, найголовніше, агресивну де-ідентифікацію. Жодна

персональна ідентифікаційна інформація (ПІІ) не повинна залишати периметр сервісу-посередника та потрапляти на зовнішній GenAI-сервіс.

2. Стандартизація даних на базі HL7 FHIR. Неструктурована текстова відповідь від GenAI є марною для МІС, оскільки її неможливо автоматично обробити. Ключова вимога – змусити LLM повернути відповідь у вигляді структурованого JSON, який потім обов'язково трансформується у валідні FHIR-ресурси [3]. Для суб'єктивного опитування найбільш релевантними є:

- QuestionnaireResponse: Використовується, якщо GenAI динамічно генерує опитувальник для пацієнта, а потім збирає відповіді. Ресурс містить посилання (questionnaire) на оригінальний Questionnaire та самі відповіді (item.answer).

- Observation: Використовується для представлення окремих симптомів, виявлених LLM у вільному тексті. Наприклад, скарга "гострий біль у грудях" може бути закодована як ресурс Observation з code (напр., SNOMED CT "29857009 | Chest pain|") та valueString ("гострий").

Використання FHIR забезпечує семантичну сумісність з будь-якою сучасною МІС та дозволяє зберігати дані не як "мертвий" текст, а як машиночитні клінічні сутності.

3. Безпека та конфіденційність. Оскільки система оперує чутливими медичними даними (Protected Health Information, PHI), вона повинна відповідати міжнародним нормам. Архітектура повинна імплементувати надійні механізми автентифікації. Найкращим галузевим стандартом є SMART on FHIR, який поєднує OAuth 2.0 (для авторизації додатків) та OpenID Connect (для автентифікації користувачів). Це дозволяє МІС надавати Middleware чітко обмежені, короткострокові права доступу (наприклад, "тільки запис Observation для пацієнта X") без передачі логінів та паролів. Увесь трафік має шифруватися (TLS), а дані у стані спокою (encryption-at-rest) – також.

4. Контекстуалізація та інженерія запитів (Prompt Engineering). "Сліпий" LLM не може коректно опитати пацієнта. Його необхідно забезпечити контекстом, використовуючи техніку Retrieval-Augmented Generation (RAG) (Рис. 2). Сервіс-посередник (напр., Flowise) перед зверненням до LLM виконує два додаткові кроки [4]:

- Звернення до бази знань (напр., Confluence): Система знаходить релевантні клінічні протоколи або статті (напр., "Протокол опитування при болю в грудях") і додає їх до запиту.

- Звернення до бази пам'яті (напр., Zep Cloud): Система знаходить попередні сесії цього (анонімізованого) пацієнта, щоб LLM міг ставити уточнюючі питання (напр., "Минулого разу ви казали, що біль був іншим. Чим він відрізняється?").

Лише після цього збагачений "мега-запит" відправляється до LLM, що радикально підвищує якість та релевантність відповідей.

5. Моніторинг та трасування. Система є складною та розподіленою. Необхідна інтеграція інструментів моніторингу (напр., Sentry) для відстеження помилок API, логування аномальної активності (напр., спроб обійти де-ідентифікацію), моніторингу продуктивності (затримки LLM) та фінансового аудиту (відстеження використання платних токенів API). Це забезпечує повну аудитоспроможність (traceability) життєвого циклу даних.

Обмеження та шляхи їх подолання

Попри значний потенціал, ідентифіковано суттєві обмеження та ризики.

Ризик "галюцинацій" LLM. Головним ризиком є те, що LLM може генерувати невірну або вигадану медичну інформацію. Це є неприпустимим у клінічній практиці.

- Шлях подолання: Впровадження інтерфейсу "Human-in-the-Loop" (HITL). Згенерований LLM FHIR-ресурс (напр., узагальнення скарги) не повинен автоматично зберігатися у МІС. Він має спочатку потрапляти у "пісочницю" в кабінеті лікаря, де лікар обов'язково переглядає, редагує (за потреби) та валідує дані перед тим, як підписати їх та зберегти в офіційну карту пацієнта.

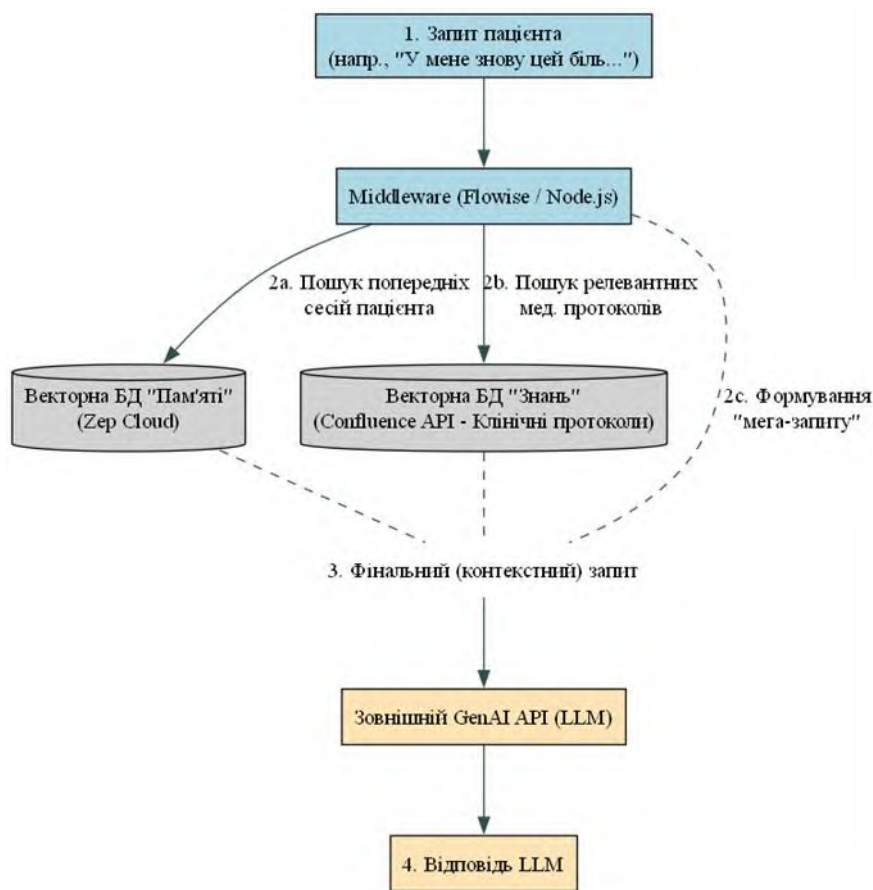


Рисунок 2 – Схема процесу Retrieval-Augmented Generation (RAG) для збагачення запиту

Нормативно-етичні бар'єри. Навіть анонімізовані медичні дані, відправлені на сторонні сервери (напр., OpenAI), можуть підпадати під дію суворих регуляцій, як GDPR (в ЄС) та HIPAA (в США) [5].

– Шлях подолання: По-перше, необхідно укласти з провайдером GenAI Business Associate Agreement (BAA), що юридично зобов'язує його дотримуватись стандартів HIPAA. По-друге, для максимальної безпеки, архітектура повинна передбачати можливість переключення з публічного API на локально розгорнуту (on-premise) або приватну модель (напр., Llama 3, розгорнута у приватному хмарному середовищі), що повністю усуває ризик витоку даних на сторонні сервери.

Технічні обмеження. Система залежить від стабільності інтернет-з'єднання та затримок (latency) API.

– Шлях подолання: Впровадження механізмів черг (Queues) та повторних спроб (Retries) у Middleware. Якщо API LLM недоступний, запит пацієнта не втрачається, а ставиться в чергу на обробку, а пацієнту видається повідомлення про очікування.

Висновки

Інтеграція генеративних ШІ-сервісів у процес збору суб'єктивного анамнезу є перспективним напрямом біомедичної інженерії, здатним значно зекономити час лікаря та покращити повноту зібраних даних. Однак, це не "plug-and-play" рішення. Успішна та безпечна реалізація вимагає побудови складної, безпеко-орієнтованої архітектури (SOA), яка функціонує як захищений посередник. У цій архітектурі стандарт HL7 FHIR виступає незамінним інструментом для забезпечення фінальної інтеоперабельності та перетворення вільного тексту у структуровані, машиночитні клінічні дані на стороні медичної інформаційної системи.

Список використаних джерел

1. World Health Organization (WHO). Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health [Електронний ресурс]. 2021. Режим доступу: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200> (дата звернення: 09.11.2025).
2. Chen Y., et al. A FHIR-based framework for scalable integration of AI applications into clinical workflows / Y. Chen, et al. // Journal of Biomedical Informatics. 2023. Vol. 138. DOI: 10.1016/j.jbi.2023.104281.
3. HL7 International. HL7 FHIR Release 4 (Version 4.0.1): Fast Healthcare Interoperability Resources [Електронний ресурс]. 2019. Режим доступу: <https://www.hl7.org/fhir/r4/> (дата звернення: 09.11.2025).
4. McCoy R. T., et al. Prompt Engineering for Clinical AI: A Systematic Review / R. T. McCoy, et al. // Journal of Biomedical Informatics. 2023. Vol. 142. DOI: 10.1016/j.jbi.2023.104357.
5. Chen Y., Esmailzadeh P. Generative AI in Medical Practice: In-Depth Exploration of Privacy and Security Challenges / Y. Chen, P. Esmailzadeh // Journal of Medical Internet Research. 2024. Vol. 26. Art. e53008. DOI: 10.2196/53008.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ (AR) ТА ВІРТУАЛЬНОЇ (VR) РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ СТОМАТОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

Криштопа Альбіна Олександрівна, старший викладач кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики alla335578@gmail.com¹,
Поліщук Анастасія Дмитрівна, студентка 1 курсу стоматологічного факультету anastasipolishchuk12@gmail.com¹

¹ Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

Наразі відбувається стрімкий розвиток інформаційних технологій, зокрема доповненої/віртуальної реальності (AR/VR). Їх інтеграція у стоматологічну практику стає дуже актуальною в контексті підвищення якості стоматологічної освіти.

Мета цієї роботи – проаналізувати можливості та ефективність використання технологій доповненої (AR) і віртуальної (VR) реальності в стоматологічній освіті з метою підвищення якості навчання, професійної підготовки, практичних навичок студентів, а також вплив технологій на формування професійних компетентностей майбутніх лікарів-стоматологів.

Навчання за допомогою віртуальних цифрових технологій класифікується як навчання з використанням доповненої реальності (AR-assisted learning) та віртуальної реальності (VR-assisted learning), що дає можливість студентам-стоматологам відпрацьовувати клінічні маніпуляції у безпечному, реалістичному середовищі, вивчати анатомічні структури у 3D-форматі, моделювати хірургічні втручання та оцінювати результати своєї роботи без ризику для пацієнта.

Технологія доповненої реальності створює комплекс цифрових елементів та реального світу і дозволяє студентам візуалізувати складні просторові відносини, абстрактні поняття та переживати явища, які могли б бути неможливими в реальному світі. Водночас віртуальна реальність (VR) повністю занурює користувача у створений технологіями світ, за допомогою моделювання тривимірного зображення. Для користувачів створений дисплей, який надягається на голову, що дає змогу взаємодіяти з віртуальним середовищем та подіями у ньому.

У стоматології потенційний вплив цих технологій є величезним, оскільки всі природні явища, що відбуваються під час проведення процедури на реальному пацієнті можна змодельовати, і таким чином сформувати безконтактне навчальне середовище для пацієнтів. Вони отримують визнання як цінний інструмент для навчання студентів-стоматологів, і їх використання стоматологічними школами зростає у всьому світі.

Virteasy Dental

Стоматологічний симулятор на основі віртуальної реальності та тактильних прийомів, який використовується для навчання студентів-стоматологів у понад 30 університетах по всьому світу. Він охоплює: реставрацію, ендодонію, ортодонію та імплантологію. Важливою складовою є те, що редактор Virteasy дає змогу створювати власні вправи для конкретних пацієнтів, використовуючи вбудовану 3D-бібліотеку або імпортувати внутрішньоротові скани реальних своїх пацієнтів. Як наслідок, використання даного симулятора покращує якість практичних навичок в декілька разів.

DentSim Simulator

Розробка компанії Image Navigation, що використовує технологію доповненої реальності для моделювання, дозволяючи студентам з усього світу відточувати свої навички. Під час сидіння за манекеном та підготовки до препарування рух наконечника студента та зуба-типодонта оптично відстежується та аналізується в режимі реального часу. Наразі даний інструмент допоміг 10 000 стоматологів у понад 17 країнах вдосконалити свої навички та зробити можливим позитивний досвід для своїх пацієнтів.

HoloLens

AR інструменти можуть бути використаними в освітньому процесі та стати альтернативним інструментом для дистанційного навчання. HoloLens має форму захисних окулярів, вони оснащені вбудованим акумулятором, мікропроцесором, камерами, мікрофоном, динаміками, а також голографічними проекторами в лінзах. За допомогою інтегрованих камер поверхня, що оточує користувача сканується та оцінюється відстань від пристрою, це дозволяє спроектувати віртуальні голографічні об'єкти у фіксованому положенні, навіть при переміщенні користувача. Таке розміщення дозволяє спостерігати за проєктованими об'єктами як за справжніми 3D-об'єктами та з різних точок зору. Корисними характеристиками є розпізнавання голосу, жестів та положення голови користувача, що використовуються під час взаємодії з об'єктами. За допомогою таких можливостей, студенти-медики з більшою ефективністю зможуть опанувати анатомічні структури та навички у лікуванні.

У стоматології потенційний позитивний вплив технологій доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) є значним. Їх використання забезпечує формування конкурентоспроможного фахівця, здатного працювати в умовах цифрової трансформації діяльності лікаря-стоматолога та медицини в цілому.

Практика на віртуальних пацієнтах з тактильним зворотним зв'язком у реальному часі дозволяє студентам швидко та ефективно виконувати рутинні та складні процедури, аналізувати типові помилки та покращувати моторні навички без ризику для пацієнтів.

Вони дозволяють засвоїти великий обсяг матеріалу за короткий час та наочно у 3D форматі візуалізують анатомічні структури, що транлюкуються зображенням з усіх сторін, тим самим забезпечуючи детальне вивчення необхідних структур.

Їх використання надає можливість доступу до матеріалів у будь який час та підвищує комфорт студентів.

З економічного аспекту, завдяки симуляторам віртуальної реальності зменшуються втрати матеріалів, оскільки студентам-стоматологам не потрібно практикуватися на штучних зубах та моделях.

Технології стають надзвичайно корисними для формування навичок під час дистанційного навчання, та є одними з основних можливостями для практики в умовах онлайн навчання.

Технології доповненої та віртуальної реальності допомагають підвищити рівень зацікавленості у студентів

Попри численні переваги, використання VR та AR технологій в стоматологічному навчанні має певні обмеження та виклики. Перш за все, це висока вартість впровадження даних технологій, вони вимагають значних інвестицій, що є проблемою для багатьох навчальних закладів, насамперед в країнах з обмеженими ресурсами. Іншим викликом є брак досвіду роботи з новими технологіями, та як наслідок потреба в адаптації традиційних навчальних програм до їх використання, що є нешвидким процесом. Важливим аспектом виступає вироблення механізмів безпечового регулювання, валідація AR та VR додатків. Крім цього потенційною проблемою є брак особистого спілкування.

Висновок. Технології віртуальної та доповненої реальності мають великий потенційний вплив для навчання студентів-стоматологів. Вони є перспективним напрямком у стоматологічній освіті, що дозволяє ефективно поєднувати теоретичні знання з практичними навичками, тим самим значно покращуючи якість підготовки майбутніх фахівців, сприяють глибшому розумінню анатомічних структур та розвитку клінічного мислення. Незважаючи на те, що їх використання має певні виклики, інтеграція AR і VR у навчання формує сучасного, висококваліфікованого фахівця, готового до практичної діяльності в умовах цифрової медицини. Інтеграція AR і VR у навчальний процес підвищує ефективність підготовки майбутніх стоматологів, роблячи освіту більш гнучкою, безпечною та технологічно орієнтованою.

Список використаних джерел

1. Кузьменко О., Пономаренко В. (2025). ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ ЯК КОМПОНЕНТ STEAM-ОСВІТИ. *Актуальні аспекти розвитку STEAM-освіти в умовах євроінтеграції: збірник матеріалів III Міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції*, 269-270.

2. Матвієнко М. М., Прохоренко І. А. (2024). ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАННЯ, ДОПОВНЕНОЇ (AR) ТА ВІРТУАЛЬНОЇ (VR) РЕАЛЬНОСТЕЙ У ДОКЛІНІЧНІЙ СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ОСВІТІ. *Медицина та фармація: освітні дискурси*, (4), 70–78. <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-4-12>
3. Baniyadi T., Ayyoubzadeh S. M., Mohammadzadeh N. (2020). Challenges and Practical Considerations in Applying Virtual Reality in Medical Education and Treatment. *Oman medical journal*, 35(3), e125. <https://doi.org/10.5001/omj.2020.43>
4. Fahim S., Maqsood A., Das G., Ahmed N., Saquib S., Lal A., Khan A. A. G., Alam M. K. (2022). Augmented Reality and Virtual Reality in Dentistry: Highlights from the Current Research. *Applied Sciences*, 12(8), 3719. <https://doi.org/10.3390/app12083719>
5. Rania M., Amira A., Nebras A., Rawah E., Sary B. (2021). Effectiveness of Virtual Reality and Interactive Simulators on Dental Education Outcomes: Systematic Review. *Thieme*, 14-29. <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/s-0041-1731837>

НОСИМІ СЕНСОРИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ МЕДИЦИНИ

Лисенко Вікторія Вікторівна, студентка БМІ-25-М, lysenko_v_v@students.pstu.edu¹
Сілі Іван Іванович, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії, sili_i_i@pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Сучасна персоналізована медицина базується на індивідуальному підході до кожного пацієнта з урахуванням його генетичних, фізіологічних та поведінкових особливостей. Важливу роль у цьому відіграють носимі сенсори (wearable sensors), які дозволяють здійснювати безперервний моніторинг фізіологічних параметрів людини у реальному часі.

Носимі сенсорні пристрої інтегруються у розумний одяг, браслети, годинники, пластирі або імпланти. Вони здатні відстежувати широкий спектр біомедичних показників: частоту серцевих скорочень, артеріальний тиск, рівень кисню в крові, температуру тіла, електрокардіограму (ЕКГ), електроенцефалограму (ЕЕГ), рівень глюкози, показники рухової активності та сну.

Принцип роботи більшості сенсорів базується на перетворенні фізіологічних сигналів у електричні, що обробляються мікроконтролерами та передаються через бездротові технології (Bluetooth, Wi-Fi, NFC) до смартфонів або хмарних систем для подальшого аналізу.

Важливою складовою таких систем є аналітичні алгоритми на основі штучного інтелекту, які дозволяють не лише збирати дані, а й виявляти патерни, прогнозувати ризики захворювань та формувати персональні рекомендації для користувача. Наприклад, штучний інтелект може попередити про можливий серцевий напад або гіпоглікемію ще до появи симптомів.

Основні типи носимих сенсорів:

- Біохімічні сенсори – аналізують склад поту, слини чи міжклітинної рідини (наприклад, рівень глюкози, електролітів, кортизолу).
- Біоелектричні сенсори – вимірюють електричну активність серця, м'язів, мозку.
- Оптичні сенсори – застосовують фотоплетизмографію (PPG) для визначення частоти серця та насичення крові киснем.
- Механічні сенсори – реєструють рух, положення тіла, дихальні коливання.

Носимі сенсори відкривають нові можливості для персоналізованої медицини, оскільки дозволяють забезпечити раннє виявлення патологічних змін; сформувати індивідуальні терапевтичні плани; здійснювати дистанційний моніторинг пацієнтів; підвищити прихильність до лікування та контроль способу життя.

Водночас залишається низка викликів: забезпечення точності вимірювань, енергозбереження, мініатюризації пристроїв, захисту персональних даних та кібербезпеки.

Майбутні перспективи включають інтеграцію носимих сенсорів із системами «інтернету медичних речей» (ІоМТ), розвиток еластичних та біосумісних матеріалів, а також створення повністю автономних систем моніторингу, які здатні не лише збирати дані, а й автоматично регулювати терапію – наприклад, дозування інсуліну чи подачу ліків через мікронасоси.

Таким чином, розвиток носимих сенсорів є ключовим кроком до реалізації концепції персоналізованої, превентивної та цифрової медицини, яка орієнтована на підтримку здоров'я кожної людини у реальному часі.

Список використаних джерел

1. Heikenfeld J., et al. (2020). Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects. Lab on a Chip, 20(23), 4363–4380.
2. Lee H., Choi T. K., Lee Y. B., et al. (2019). A graphene-based electrochemical device with thermoresponsive microneedles for diabetes monitoring and therapy. Nature Nanotechnology, 14, 156–163.
3. Yang G., Xie L., Mäntysalo M., et al. (2020). A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor, and Intelligent Medicine Box. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(5), 3260–3269.
4. Mosenia A., Jha N. K. (2016). Toward Wearable Health Monitoring: Design Challenges, System Architecture, and Hardware Prototype. IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems, 3(4), 249–265.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМИ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМАГРОФІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ

Мамонтов Євген Олександрович, 2 курс, бакалавр,
mamontovevgen2007@gmail.com¹

¹ Сумський державний університет, м. Суми

У ХХІ столітті неможливо представити обстеження у галузі неврології без електроенцефалограми (далі ЕЕГ) та функціональної магнітно-резонансної томографії (далі фМРТ).

ЕЕГ дозволяє виявити такі хвороби, як епілепсія, порушення сну, наслідки інсультів і травм голови, запальні та дегенеративні захворювання, пухлини головного мозку, синкопальні стани тощо.

У свою чергу, фМРТ дозволяє виявити такі захворювання, як пухлини головного мозку, судинні патології, нейродегенеративні хвороби, епілепсія, психічні розлади.

В основі методу ЕЕГ лежить вимірювання електричної активності мозку за допомогою електродів, які частіше всього знаходяться на поверхні голови. Цей метод чутливий до короткочасних нейронних подій. Основні характеристики ЕЕГ-сигналів – амплітуда, частота, фаза та просторова локалізація генераторів сигналу.

Натомість фМРТ відображає нейронну активність через зміну насичення крові киснем. Хоча її часові характеристики обмежені, метод надає точні просторові карти активності мозку.

Чисельні методи відіграють значну роль у сучасному аналізі даних ЕЕГ та фМРТ, оскільки дають змогу не тільки очищати і попередньо обробляти сигнали, а й знаходити закономірності, зв'язки між мозковими структурами та інтегрувати інформацію з різних модальностей. Процес аналізу охоплює багато етапів – від базової обробки сигналів до складного статистичного моделювання.

На початковому етапі обробки даних особливу увагу приділяють фільтрації та очищенню сигналів від шумів та артефактів (артефакт – небажане спотворення або шум, що не відображає реальної картини нейронної активності мозку).

Для ЕЕГ-сигналів використовують смугові фільтри (band-pass), які пропускають лише певний діапазон частот. Це дозволяє відсіяти повільні тренди, зумовлені зміною опору шкіри, та високочастотні шуми, наприклад, спричинені м'язовими скороченнями.

Фільтрація часто базується на фільтрах із кінцевою імпульсною характеристикою, спроектованих із використанням вікон Блекмана, Хеммінга або на фільтрах Баттерворта.

Нерідко для того, щоб прибрати артефакти використовують незалежний компонентний аналіз (НКА) – статистичний числовий метод, що дозволяє відтворити незалежні джерела сигналу на основі лише їх суміші. Математична модель НКА формулюється як:

$$x(t) = A \cdot s(t), \quad (1)$$

де $x(t) \in \mathbb{R}^m$ – вектор спостереження сигналів (значення з m електродів у момент часу t), $s(t) \in \mathbb{R}^n$ – вектор латентних джерел сигналу, $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ – невідома матриця змішування.

Метою НКА є побудова матриці $W \in \mathbb{R}^{n \times m}$, яка дозволяє наближено відтворити незалежні джерела:

$$u(t) = W \cdot x(t) \approx s(t), \quad (2)$$

де $u(t)$ – оцінка незалежний компонент.

Програмна реалізація цього методу (мовою Python):

```
import numpy as np

sampling_freq = 1000
duration = 5
num_samples = sampling_freq * duration
time_vector = np.linspace(0, duration, num_samples)

sine_wave = np.sin(2 * np.pi * 5 * time_vector)
square_wave = np.sign(np.sin(2 * np.pi * 1 * time_vector))

source_matrix = np.vstack([sine_wave, square_wave])
source_matrix /= source_matrix.std(axis=1, keepdims=True)

mixing_matrix = np.array([[1, 0.5], [0.4, 1]])

mixed_signals = mixing_matrix @ source_matrix

X_centered = mixed_signals - mixed_signals.mean(axis=1, keepdims=True)

covariance_matrix = np.cov(X_centered)

eigenvalues, eigenvectors = np.linalg.eigh(covariance_matrix)

D_inv_sqrt = np.diag(1.0 / np.sqrt(eigenvalues))
whitening_matrix = D_inv_sqrt @ eigenvectors.T

whitened_data = whitening_matrix @ X_centered

def tanh_contrast(u):
    return np.tanh(u)

def tanh_contrast_derivative(u):
    return 1 - np.tanh(u)**2

def fastica_algorithm(Z, tolerance=1e-6, max_iterations=1000):
    n_components = Z.shape[0]

    W = np.zeros((n_components, n_components))

    for i in range(n_components):
        w = np.random.rand(n_components)
        w /= np.linalg.norm(w)

        for _ in range(max_iterations):
            w_old = w
```

```
g_wZ = tanh_contrast(w @ Z)
g_prime_wZ = tanh_contrast_derivative(w @ Z)

w_new = (Z * g_wZ).mean(axis=1) - g_prime_wZ.mean() * w

if i >= 1:
    w_new -= W[:i].T @ (W[:i] @ w_new)

w_new /= np.linalg.norm(w_new)

if np.abs(np.abs(w_new @ w_old) - 1) < tolerance:
    break

w = w_new # Оновлюємо вектор для наступної ітерації

W[i, :] = w

return W @ Z

estimated_sources = fastica_algorithm(whitened_data)

print("Форма відновлених джерел:", estimated_sources.shape)
print("Перші 5 зразків відновленого компонента 1:", estimated_sources[0, :5])
print("Перші 5 зразків відновленого компонента 2:", estimated_sources[1, :5])
```

Приклад роботи програми показаний на рис .1.

```
Shape of estimated sources: (2, 5000)
First 5 samples of estimated component 1: [-1.99969820e-04 -1.00008623e+00 -1.00012335e+00 -1.00016039e+00
-1.00019733e+00]
First 5 samples of estimated component 2: [-3.67755370e-05 -1.38745792e-01 -9.36217168e-02 -4.85867855e-02
-3.68545963e-03]

** Process exited - Return Code: 0 **
```

Рисунок 2 – Приклад роботи програми

Методи спектрального аналізу дозволяють розкласти складний ЕЕГ-сигнал на складові за частотою. Основою є перетворення Фур'є.

Загальна лінійна модель є стандартом у статистичному аналізі фМРТ. Вона моделює зміни BOLD-сигналу як лінійну комбінацію передбачених стимулів або регресорів, які згорталися з функцією геодинамічної відповіді. Результати – статистичні картки активації. Математична модель має вигляд:

$$Y = X\beta + \varepsilon, \quad (3)$$

де Y – вектор вимірюного BOLD-сигналу, X – матриця регресорів, β – оцінювані коефіцієнти, ε – шум.

Числові методи відіграють вагому роль в аналізі ЕЕГ та фМРТ, дозволяючи очищати сигнали від шумів та артефактів за допомогою смугових фільтрів та незалежного компонентного аналізу(НКА). Якщо для ЕЕГ важливим є спектральний аналіз, то стандартним методом статистичного аналізу фМРТ є загальна лінійна модель (ЗЛМ), що підтверджує необхідність та ефективність програмної реалізації цих алгоритмів.

Список використаних джерел

1. Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9–21.
2. Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. (Ред.). (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
3. Friston, K. J., Holmes, A. P., Worsley, K. J., Poline, J. P., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1994). Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear model framework. *Neuroimage*, 1(4), 231–240.

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ АДИТИВНО-ВИГОТОВЛЕНОЇ БІОМЕДИЧНОЇ СТАЛІ 316L

Нікітін Віталій Сергійович, студент гр. BMI-24-M, nikitin_v_s@students.pstu.edu¹,
Єфременко Богдан Васильович, доцент, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
біомедичної інженерії, efremenko_b_v@pstu.edu¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

В останні роки адитивне виробництво (AB) відкрило нові шляхи для виготовлення складних високоточних компонентів, зокрема з нержавіючої сталі 316L. Метод селективного лазерного сплавлення в порошковому шарі LPBF дозволяє формувати вироби з унікальними мікроструктурними особливостями, які значно відрізняються від традиційних аналогів. Через нерівноважні умови затвердіння, готові деталі мають характерну коміркову субструктуру, високу густину дислокацій та значні залишкові напруження, які можуть негативно впливати на довготривалу експлуатаційну надійність.

Для усунення внутрішніх дефектів, зниження залишкових напружень та модифікації кінцевих механічних властивостей виробів, створених методом LPBF, застосовується низка технологічних обробок. Найбільш доступним і системним підходом є термічна обробка (ТО), спрямована на рекристалізацію, гомогенізацію та зняття напружень. Поряд із ТО, для підвищення щільності та довговічності широко застосовується гаряче ізостатичне пресування (ГІП), що ефективно усуває внутрішню пористість. Окремо використовуються механічні поверхневі обробки, такі як лазерне ударне зміцнення та ультразвукова модифікація, які необхідні для підвищення локальної твердості та втомної міцності поверхневого шару.

Термічна обробка сталі LPBF 316L викликає комплексні та нелінійні зміни її механічних, структурних та електрохімічних характеристик. Мікроструктура матеріалу у вихідному стані AsB забезпечує високу межу плинності YTS завдяки наявності дрібної коміркової субструктури та сегрегації хрому/молібдену на межах комірок. Вплив на мікроструктуру та міцність (YTS) є значним: відпал призводить до мікроструктурної еволюції, що включає усунення коміркової субструктури, гомогенізацію хімічного складу та зниження густини дислокацій.

Зміни пластичності та в'язкості демонструють чітку немонотонну залежність від температури відпалу. Зокрема, відпал при температурі 900°C призводить до зняття залишкових напружень, забезпечуючи пік пластичності (TEL 68%) та найвищу ударну в'язкість. Натомість, подальше підвищення температури до 1200°C викликає значне погіршення пластичності. Ця деградація критично пов'язана з укрупненням та виділенням крихких неметалевих оксидних включень MnSiO₂ - основи, що стають центрами зародження тріщин.

Термічна обробка значно знижує корозійну стійкість сталі LPBF 316L порівняно з матеріалом у вихідному стані AsB. Основна причина цього зниження криється у структурних змінах, індукованих відпалом. Це включає втрату локалізованого збагачення Cr та Mo на межах комірок яке у AsB забезпечувало ефективний локальний захист, а також формування Cr-виснажених зон внаслідок виділення хромовмісних фаз, що зрештою знижує загальну ефективність пасивної плівки. Найгірший результат спостерігається при 1200°C, де фіксується найбільше погіршення показників імпедансу та підвищення густини корозійного струму. Це

пов'язано з інтенсивним укрупненням оксидних включень та утворенням Мо-збагачених фаз, які критично порушують цілісність захисного шару.

Сталь LPBF 316L у вихідному стані має оптимальний баланс міцності, пластичності та корозійної стійкості. Високотемпературний відпал не забезпечує всебічного покращення властивостей. Обробка при 900°C може бути рекомендована лише у випадках, коли пріоритетом є максимальна пластичність та в'язкість, а зниження міцності та корозійної стійкості є прийнятним компромісом.

Список використаних джерел

1. Efremenko, B.; Chabak, Y.; Petryshynets, I.; Zhao, T.; Efremenko, V.; Wu, K.; Xia, T.; Džupon, M.; Arshad, S. Evaluation of the Suitability of High-Temperature Post-Processing Annealing for Property Enhancement in LPBF 316L Steel: A Comprehensive Mechanical and Corrosion Assessment. *Metals* **2025**, *15*, 684. <https://doi.org/10.3390/met15060684>

ЦИФРОВА МЕДИЦИНА

Сиворка Владислав Анатолійович, студент гр. РПЗ-24-01, sivorka2@gmail.com¹,
Тарнавська Ірина Олександрівна, викладач першої категорії,
iri.tarnavska@gmail.com¹

¹ ВСП «Маріупольський машинобудівний фаховий коледж ДВНЗ «ПДТУ»

У даний час фактично в усі галузі охорони здоров'я впроваджені інформаційні технології (ІТ). Завдяки цьому медицина набула абсолютно нових рис.

Цей процес супроводжується суттєвими змінами в медичній теорії та практиці, пов'язаними з внесенням коректив до підготовки медичних працівників. ІТ-технології допомагають лікарю проводити об'єктивну діагностику захворювань, накопичувати й ефективно використовувати отриману інформацію на всіх стадіях лікувального процесу і, що найважливіше для медичної науки, є неоціненними у науковому пізнанні.

Розглянемо основні напрями застосування сучасних інформаційних технологій.

Віртуальна реальність (VR) змінює життя пацієнтів і медиків. Наразі VR активно використовується для підготовки майбутніх хірургів.

Нещодавно в Каліфорнійському університеті було проведено дослідження. Воно показало, що підготовлені за допомогою VR лікарі показали значне підвищення загальної обізнаності та ефективності порівняно з традиційно підготовленими колегами.

Також ця технологія знайшла своє застосування у психотерапії, де вона приносить полегшення у боротьбі з болем. Пацієнти оснащуються VR-гарнітурами для візуалізації заспокійливих пейзажів у поєднанні з музикою, що допомагає відвернути їхню увагу від подразників. Дослідження 2019 року (Британія) показало, що пацієнти, для яких використовували VR, набагато легше перенесли оперативне втручання, відзначали зменшення больових відчуттів та загальної тривоги.

Майбутнє медицини та охорони здоров'я тісно пов'язане з розширенням можливостей пацієнтів моніторити свій фізичний та емоційний стан за допомогою сучасних **хай-тек носіїв та трекерів** (фітнес-браслети, смарт-телефони, натільні сенсори).

Перераховані пристрої надають змогу дізнатися більше про себе та повернути контроль над власним здоров'ям. Окрім цього, гаджети дозволяють ділитися результатами зі своїм лікарем, який має змогу приймати більш обґрунтовані рішення відносно профілактики виникнення чи лікування присутнього захворювання.

Роботи-манекени, роботи-кур'єри, роботи-санітари – це вже реальність. З'явилася велика кількість роботів, які виконують надзвичайно складні маніпуляції.

Хірургічний робот Da Vinci (США) дозволяє через невеликі отвори в шкірі виконувати найскладніші операції на внутрішніх органах. Чутливі маніпулятори точно відтворюють рухи

рук хірурга, який сидить за пультом, при цьому фільтруючи тремтіння або випадкові різкі рухи.

Медичною сенсацією є **Robotic Glove для реабілітації пальців рук**. Це рукавичка, оснащена датчиками, які можуть виявити вібрації, звук і температуру, вона має акселерометр і звукову систему, яка сигналізує про органи, що вимагають негайної уваги. Рукавичка збирає і передає всю інформацію на комп'ютер.

Медичний робот AMIGO з'явився в 2010 році у Великобританії. Основна спеціалізація робота – операції по лікуванню аритмії серця. Він допомагає вводити через артерію катетер до пошкоджених ділянок серцевого м'яза.

В Україні роботизовану систему **Da Vinci** використовує лише декілька медичних закладів. До прикладу: Medical Plaza Дніпро та лікарня Святого Пантелеймона Львова.

3D-друк стали безцінним відкриттям у всіх аспектах медицини та охорони здоров'я. Розроблені методики дозволяють друкувати біотканини, штучні кінцівки, таблетки, кровоносні судини, і цей список збільшується.

В Україні використання тривимірного друку актуальне у будь-якому напрямі хірургії та стоматології. Можна розробляти макети не тільки окремих кісток, але і цілих органів. Популярна також розробка імплантатів, протезів, ортопедичних устілок.

Також набирає популярності **телемедицина** – дистанційне надання медичних послуг, коли пацієнт і лікар розділені великою відстанню, при цьому зовсім не страждає якість послуг. Власне, консультації через відеозв'язок вже давно мали місце, однак їх ефект був досить обмежений. Справа в тому, що для лікаря дуже важливе значення має огляд пацієнта. Крім результатів аналізів він повинен бачити колір шкіри і очей, аномальні прояви на поверхні тіла. До недавнього часу для цієї мети використовувалися фотографії, однак вони не могли передати всі характеристики. Симптоматика шкірних захворювань присутній в 90% інших хвороб, тому це дуже важлива стадія діагностування. Але сьогодні з'явилося безліч інтелектуальних скануючих програм, які використовують технології розпізнавання зображень. І ці технології іноді розпізнають шкірні захворювання, такі як екзема, псоріаз, дерматит та інше краще, ніж людське око фахівця.

Поряд з перерахованими технологіями, все активніше в західній медицині використовуються алгоритми штучного інтелекту. Поєднання обчислювальних технологій обробки великих даних зі ШІ вже зараз має застосування в таких практичних областях, як діагностика, розробка лікарських препаратів, оптимізація робочих процесів. І це лише верхівка айсбергу під назвою цифрова медицина.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ БІОСТЕКОЛ, МОДИФІКОВАНИХ ІОНАМИ МАГНІЮ ТА СТРОНЦІЮ

Хоменко Олена Сергіївна, канд. техн. наук, доц., o.s.khomenko@ust.edu.ua¹,
Смєлова Маргарита Олегівна, студ. гр. 3-БМІ-51, margaritasmeloval20@gmail.com¹,
Прохоренко Ілля Олександрович, аспірант, bkmz841@gmail.com¹

¹Кафедра хімічних технологій кераміки, скла та біомедичних матеріалів
Український державний університет науки і технологій ННІ УДХТУ, м. Дніпро

Відновлення кісткової тканини після травм, захворювань або хірургічних втручань залишається однією з найактуальніших проблем сучасної біомедицини. Попри значний прогрес у створенні штучних кісткових замінників, пошук біоматеріалів, здатних одночасно забезпечити біосумісність, біоактивність і контрольовану деградацію, триває.

Оригінальна рецептура скла має деякі недоліки: термічна обробка найвідомішого біоскла 45S5 Bioglass® та йому подібних для отримання спечених матеріалів, каркасів та покриттів сприяє девітрифікації [1]. У таких технологіях біостекла необхідно спікати при температурах,

близьких до температур їх кристалізації, яка може покращити механічні властивості кінцевого матеріалу, але гальмує спікання, оскільки зменшує об'ємну частку скла для рідкофазного ущільнення. Крім того, кристалізація також може впливати на біоактивність скла, оскільки нові кристалічні фази є менш реакційноздатними, ніж аморфний аналог. Так, девітрифікація біоскла знижує швидкість утворення гідроксиапатиту у фізіологічних рідинах [2], а здатність даного біоактивного скла стимулювати регенерацію тканин на клітинному рівні пов'язана як раз таки зі швидкістю його розчинення у фізіологічному середовищі та перетворення на гідроксиапатит. Зрештою, часткова кристалізація може призвести до нестабільності, оскільки аморфні ділянки, що залишилися, переважно руйнуються *in vivo* [3]. Це, у свою чергу, може викликати руйнування імплантату через тривалу нестабільність міжфазних меж.

Обмежені механічні властивості, недостатній контроль швидкості розчинення та відсутність специфічного впливу на клітинні процеси стимулюють вчених до активних пошуків шляхів модифікації біостекло. Модифіковані матеріали нового покоління, доповані біологічно активними іонами (Sr^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , B^{3+} тощо), відкривають можливість цілеспрямовано регулювати клітинну поведінку, зокрема процеси остеогенезу, ангіогенезу та ремоделювання кісткової тканини. Введення в матрицю скла іонів стронцію або цинку, наприклад, здатне посилювати проліферацію остеобластів і знижувати активність остеокластів, тоді як мідь та кобальт сприяють формуванню нових кровоносних судин у зоні імплантації. Крім того, сучасні технології синтезу – зокрема золь-гель метод, плазмохімічне осадження та 3D-друк – дозволяють точно контролювати мікроструктуру, пористість і кінетику вивільнення активних іонів, що значно підвищує функціональність матеріалів. Але у випадку застосування операції спікання біостекло у складі композиційних матеріалів – питання їх здатності до кристалізації залишається мало дослідженим.

Отже, дослідження термічної поведінки модифікованих біостекло нового покоління є важливою задачею при створенні персоналізованих імплантів за допомогою технологій, де передбачається спікання склоподібного матеріалу. З цією метою вихідне скло 45S5 було модифіковане шляхом заміни фіксованих 10 мол.% CaO на таку ж кількість SrO (скло 1Sr) або MgO (скло 2Mg).

Результати досліджень біостекло за допомогою диференційно-термічного аналізу показали (рис. 1), що на термограмах спостерігається невелика зміна базової лінії при 650-700°C, коли скло зазнає розм'якшення (склування), а також мають місце інтенсивні екзотермічні ефекти між 840 °C та 910 °C, які пов'язані з кристалізацією стекло.

Отже, маємо, що за величиною температури кристалізації, встановлена наступна залежність $\text{Mg} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{Sr}$ (тобто заміна Ca^{2+} на Mg^{2+} підвищує температуру кристалізації скла, а заміна Ca^{2+} на Sr^{2+} – цю температуру знижує).

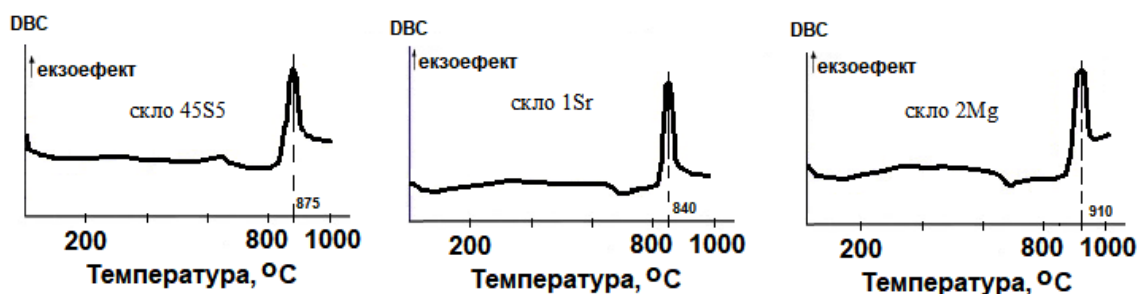


Рисунок 1 – Термограми дослідних стекло

Магній (Mg^{2+}) має більшу іонну силу і менший радіус, ніж кальцій. Внаслідок цього Mg^{2+} сильніше зв'язує оксигени структурної мережі, може частково поводитися як «мережоутворювач / укріплювач» скляної сітки, підвищувати термостійкість, розширювати інтервал між температурами склоутворення і кристалізації – тобто температура кристалізації підвищується так, що скло краще витримує нагрівання [4]

Стронцій (Sr^{2+}) має більший іонний радіус і меншу іонну силу, ніж Ca^{2+} . Тому це сприяє зниженню температури кристалізації, що співпадає з даними наукових робіт, де таку заміну досліджували [1]. Це полегшує утворення кристалічних фаз.

Отримані результати мають важливу практичну значимість. Взаємозаміна іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} та Sr^{2+} дозволяє:

1. Керувати термостійкістю і технологічністю біостекло. Mg^{2+} підвищує температуру кристалізації, отже скло стає стабільнішим під час спікання чи 3D-друку. Це означає, що легше отримати однорідний, аморфний, біоактивний матеріал без кристалізації, що критично для збереження біоактивних властивостей. Окрім того, імплантат не деформується і не втрачає активності під час стерилізації чи термообробки.

2. Керувати біоактивністю і швидкістю розчинення. Mg^{2+} та Sr^{2+} впливають на швидкість розчинення скла у фізіологічному середовищі, а отже – на утворення гідроксикарбонатапатиту, який відповідає за зрощення імплантату з кісткою, що дозволяє створювати імпланти з контрольованою швидкістю інтеграції у кістку.

3. Оптимізація складу біоскла для 3D-друку. Знання про температуру кристалізації дає змогу підібрати оптимальний температурний режим екструзії або спікання, щоб не допустити кристалізації під час самої процедури 3D-друку. Це дозволяє виготовляти пористі каркаси з точною мікроструктурою, які зберігають біоактивність.

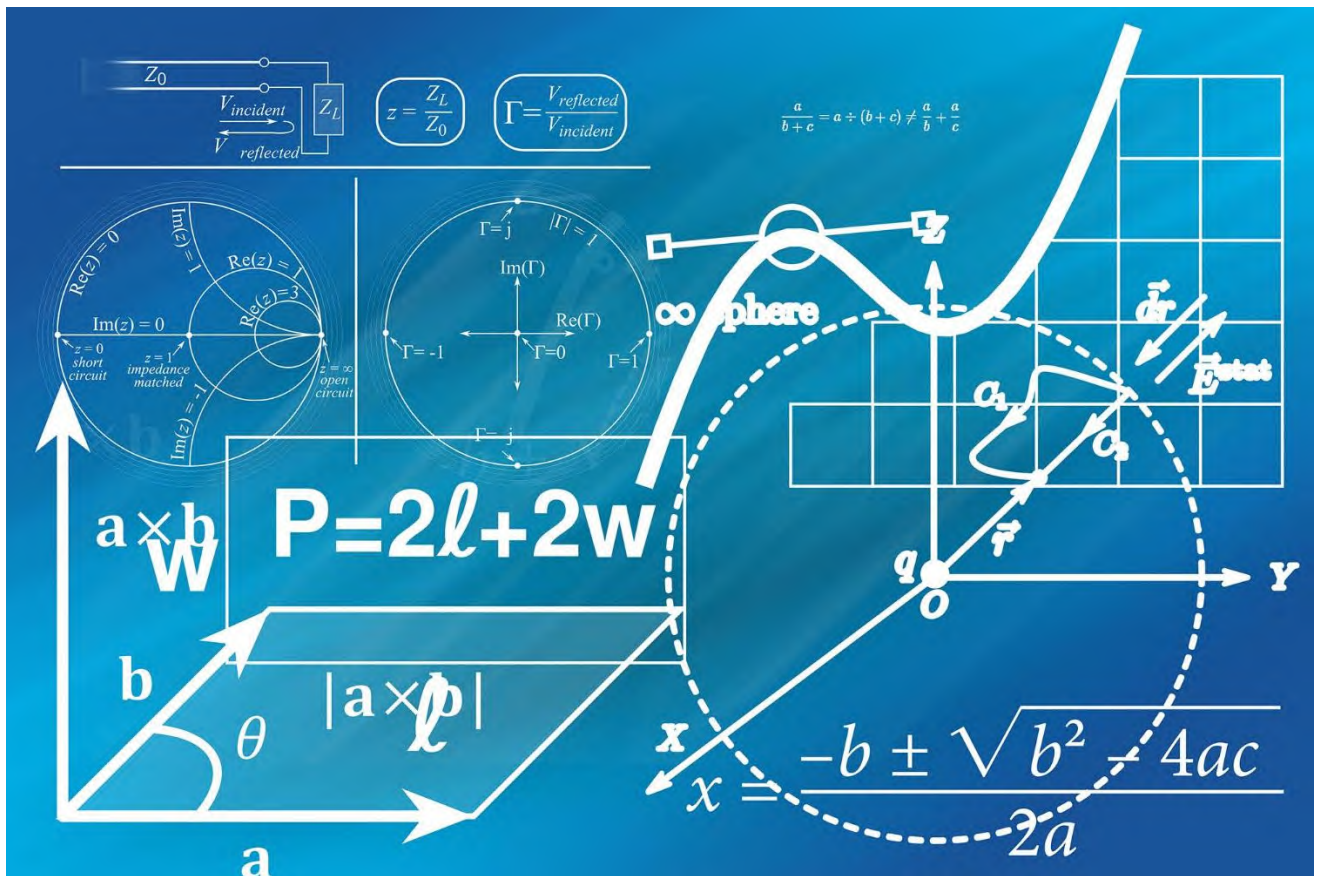
Таким чином, дослідження впливу Mg, Ca та Sr на температуру кристалізації та структуру біостекло допомагає створювати стабільні, керовано біоактивні, технологічно сумісні імпланти, які ефективніше інтегруються з кістковою тканиною і мають прогнозовані властивості при 3D-друці.

Список використаних джерел

1. Bellucci D., Sola A., Salvatori R et al. (2017) Role of magnesium oxide and strontium oxide as modifiers in silicate-based bioactive glasses: Effects on thermal behaviour, mechanical properties and in-vitro bioactivity. Materials Science and Engineering: C. Vol. 72, P. 566-575 <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.11.110>
2. Lefebvre L., Gremillard L., Chevalier J. et al. (2008) Behaviour of 45S5 bioactive glass. Acta Biomater., No.4, P. 1894-1903 <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.05.019>
3. Peitl O., La Torre G.P., Hench L.L. (1996) Effect of crystallization on apatite-layer formation of bioactive glass 45S5. J. Biomed. Mater. Res., 30, P. 509-514 [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(199604\)30:4<509::AID-JBM9>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(199604)30:4<509::AID-JBM9>3.0.CO;2-T)
4. Wetzal, R., Blochberger, M., Scheffler, F. et al. (2020) Mg or Zn for Ca substitution improves the sintering of bioglass 45S5. Sci Rep 10, 15964. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72091-7>

MATHEMATICAL MODELING

[МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ]



NONADIABATIC CHEMOELECTRON ENERGY CONVERSION IN CATALYTIC SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES: MICROSCOPIC MECHANISMS, MODELING, AND PROSPECTS FOR HIGH-EFFICIENCY POWER ELEMENTS

Denys Grankin, PhD, Lead Researcher, micredis@gmail.com¹

¹ Gwint Consulting Inc., Reno, USA,

Direct chemoelectric conversion – the transformation of chemical reaction energy into an electric current within a solid-state heterostructure – represents a promising direction for autonomous, compact energy sources. Unlike fuel cells, these devices rely not on electrochemical transport but on nonadiabatic electronic excitation produced during exothermic reactions at catalytic surfaces. The concept is especially relevant for hydrogen-related reactions, where surface recombination and oxidation release several electronvolts per event, a fraction of which can, in principle, be transferred directly into electronic degrees of freedom.

Over the past decade, catalytic nanodiodes have become established experimental platforms for detecting such chemically driven hot carriers. Yet, despite rapid progress in surface science instrumentation, measured chemicurrent yields remain small, typically in the range 10^{-5} – 10^{-2} electrons per reaction. As a result, these systems are predominantly used as diagnostic probes of catalytic processes, not as functional power units. The question of why these yields are fundamentally low – and whether they can be substantially increased – remains central.

Our work addresses this question by combining (i) experimental investigations of reaction-induced electronic excitations in solids, (ii) microscopic analysis of nonadiabatic energy transfer, and (iii) computational modeling, including AI-augmented parameter exploration, to examine the physical limits of chemoelectric conversion and to identify heterostructure designs capable of significantly higher efficiency.

A sequence of experiments on wide-gap phosphors (ZnS, ZnS/CdS-Ag) laid the foundation for the present study. In these systems, the surface recombination of atomic hydrogen produces highly vibrationally excited molecules and radicals, whose oscillating dipole moments couple nonadiabatically to the electronic subsystem of the crystal.

By selectively pre-populating electronic traps of various depths and tracking heterogeneous chemiluminescence under short, pulsed doses of hydrogen atoms during controlled thermoluminescence, we resolved the contributions from different electronic transitions and reconstructed the probability per reaction event of elevating an electron by an energy E . The resulting dependence,

$$k(E) = k_0 \exp\left(-\frac{E}{\theta_{\text{char}}}\right), \quad (1)$$

proved remarkably robust across materials and reaction conditions. The characteristic energy $\theta_{\text{char}} \approx 0.173$ eV corresponds to an effective temperature of ~ 2000 K – far exceeding any thermal effect in the sample – revealing the intrinsically nonthermal nature of the excitation process. The exponential suppression of large- E transitions plays a decisive role in determining attainable device efficiencies.

Building on the experimentally validated excitation law, we developed a modeling framework for chemically driven carrier generation in catalytic heterostructures. The model integrates:

1. Microscopic nonadiabatic excitation of electrons by vibrationally excited reaction products;
2. Energy-resolved excitation spectrum governed by the exponential probability law;
3. Hot-electron transport through thin catalytic films with energy-dependent attenuation;
4. Carrier separation and collection in semiconductor or dielectric heterostructures;
5. Device-level voltage and current output for specific geometries.

For metal-semiconductor Schottky nanodiodes (e.g., Pd/Si, Pt/Si), we evaluate the collected fraction of chemically generated carriers by convolving the exponential excitation spectrum with the transmission probability over the Schottky barrier, followed by ballistic/diffusive attenuation in the metal layer. The outcome is consistent with experiments worldwide: even idealized structures saturate at quantum yields around 10^{-3} . Lowering the Schottky barrier raises the collection fraction but simultaneously reduces the obtainable chemovoltage, so the thermodynamic efficiency cannot be improved simply by barrier engineering. This tension is intrinsic and explains the stagnation of performance in metal-based catalytic diodes.

We next apply the framework to semiconductor heterostructures designed from the outset for chemoelectric conversion. Unlike metals, semiconductors provide:

- suppressed low-energy relaxation channels,
- longer electronic lifetimes,
- internal electric fields or junctions for charge separation,
- the possibility of engineering trap distributions and interface states.

Using experimentally derived values of θ_{char} and reaction exothermicity q , we evaluate several device concepts:

- p-n junctions with catalytic contacts,
- metal-insulator-semiconductor stacks,
- heterostructures incorporating quantum dots or localized surface states,
- architectures with spatially separated catalytic and electronic-accommodation zones.

For a broad and realistic parameter range, the model predicts chemocurrent yields and overall efficiencies on the order of several tens of percent, bringing chemical-to-electronic energy conversion into the same class as photovoltaic systems. The analysis identifies the critical design factor: the electronic subsystem must offer a spectrum of accessible transitions clustered near the band edge, where the exponential law favors high excitation probability while still enabling efficient charge separation.

To explore complex parameter spaces – including metal thickness, semiconductor band gap, trap distributions, reaction energetics, and interface morphology – we incorporated AI-based tools into the simulation workflow.

Physics-informed neural networks (PINNs) were used to approximate the solution of coupled kinetic and transport equations, extending analytic estimates and reducing computation time for large parameter sweeps. Machine-learning regression models provided rapid evaluation of effective excitation spectra under varying structural hypotheses. In higher-dimensional design problems, evolutionary and Bayesian optimization techniques were applied to identify heterostructure configurations that maximize chemoelectric efficiency.

This computational strategy drastically narrows the search space – often by three to four orders of magnitude – enabling the rational design of device geometries that would be impractical to evaluate by direct simulation alone. The approach also facilitates the integration of real-material constraints, such as fabrication tolerances, interface roughness, and carrier scattering profiles.

The results bear directly on several modern technological domains:

- Hydrogen-related processes in energy and safety engineering require realistic models of nonadiabatic electron transfer, especially under conditions relevant to high-temperature or high-voltage materials.

- Next-generation battery materials exhibit interfacial reactions where electronic and vibrational energy channels play critical roles; modeling learned from chemoelectron processes is directly transferable.

- Distributed autonomous sensors – for example, in large manufacturing environments or energy-storage systems – could benefit from compact chemoelectric micro-generators requiring no external wiring or maintenance.

- Nanoscale device modeling, increasingly supported by AI and physics-based machine learning, is an active area in advanced manufacturing and energy technology companies.

By unifying experimental, theoretical, and AI-assisted modeling insights, this work provides a structured methodology for designing catalytic heterostructures capable of substantially higher chemoelectric efficiency than traditional Schottky nanodiodes.

The results show that chemically induced electronic excitation in solids is governed by a single, experimentally established probability law with a characteristic energy of ~ 0.17 eV. When this law is combined with transport analysis for catalytic heterostructures, the inherent limitations of metal-semiconductor Schottky nanodiodes follow directly: the rapid decline of excitation probability with increasing transition energy and the short mean free path of hot carriers in metals restrict the achievable chemicurrent to the 10^{-5} – 10^{-3} range even under ideal structural conditions. These limits arise from the electronic structure of metal-based interfaces and cannot be overcome by incremental improvements in film thickness or barrier tuning.

Applying the same excitation framework to semiconductor and dielectric heterostructures produces a different outcome. Near-band-edge transitions, longer carrier lifetimes, and built-in fields shift the balance toward efficient charge separation, offering a realistic route to chemoelectric efficiencies comparable to those of photovoltaic devices. AI-assisted modeling helps identify feasible geometries within these broader design spaces and confirms that practical chemoelectric generators must rely on semiconductor-based architectures that exploit the underlying microscopic mechanism rather than on refinements of traditional catalytic nanodiodes.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ СТРАХОВОЇ КОМПАНІЇ

Бабак Людмила Олександрівна, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, liudmyla.babak1@kneu.ua¹,

Юнькова Олена Олександрівна, канд. фіз.-мат. наук, доцент, професор кафедри штучного інтелекту, моделювання та статистики, yunkova.olena@kneu.edu.ua¹

¹ Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана, м. Київ

Функціонування страхового сектору безпосередньо залежить від здатності страхових компаній забезпечувати вчасне виконання зобов'язань перед страховиками. Сучасні умови нестабільності фінансових ринків та підвищених страхових ризиків спонукають до своєчасного розпізнавання тенденції у фінансовій стабільності страхових компаній. Традиційні методи оцінки стабільності часто не враховують часову динаміку або вплив макроекономічних умов, що обмежує їхні прогностичні можливості.

Згідно досліджень даних звітності НБУ [1], за період з 2021 року по 2 квартал 2025 року кількість страхових компаній зменшилась майже в 2,5 рази. Такі динамічні зміни, ймовірно, зумовлені неспроможністю окремих компаній підтримувати достатній рівень капіталу та вчасно покривати зобов'язання перед страховиками. Суттєвий вплив мають зовнішні шоки: пандемія, економічна нестабільність, військові конфлікти, екологічні загрози, які ускладнюють фінансове планування та знижують адаптивність компаній до умов криз. Саме тому для страхових компаній важливо бути готовими до непередбачуваних шоків і вміти оцінювати свою стійкість та надійність.

Метою дослідження є побудова авторегресійних моделей для прогнозування інтегрального показника фінансової стійкості страхової компанії, а також визначення впливу зовнішніх чинників на динаміку показника.

Для комплексного оцінювання фінансової стійкості компанії варто розглядати інтегральний показник. Підґрунтям для розрахунку показника фінансової стійкості FSI₄ є адитивний метод, який враховує чотири нормалізовані фінансові коефіцієнти

(платоспроможність, ліквідність, збитковість, адекватність резервів) та їх вагу на основі методу ентропії [2].

Для оцінювання динаміки інтегрального показника фінансової стійкості страхової компанії застосовано моделі часових рядів ARIMA та SARIMA. Для порівняння побудовано по дві моделі: лінійну - на основі FSI_4 та нелінійну - на логарифмованому значенні FSI_4. Підбір авторегресійних компонент здійснювався автоматично шляхом перебору різних значень у межах визначеного діапазону. Основним критерієм для відбору найкращої моделі обрано інформаційний критерій Акаїке (AIC). Результати проведених розрахунків наведено в табл.1.

Таблиця 5 – Порівняння базових моделей

Модель	AIC	MAPE	R ²	Найкраща модель
ARIMA(FSI_4)	-115,006	0,306	0,209	ARIMA(1,0,0)(0,0,0)[0]
SARIMA(FSI_4)	-128,007	0,241	0,442	ARIMA(1,0,0)(2,0,1)[4]
ARIMA(ln(FSI_4))	41,874	0,241	0,363	ARIMA(3,0,3)(0,0,0)[0]
SARIMA(ln(FSI_4))	38,223	0,236	0,389	ARIMA(1,0,0)(1,0,1)[4]

Джерело: розроблено автором

За критерієм AIC та метриками точності SARIMA(FSI_4) є найкращою серед базових моделей. Застосування логарифмування до індексу фінансової стійкості покращує нормальність розподілу та стабільність дисперсії, але не зменшує AIC і не покращує точність. Тож для моделювання ARIMA базовий ряд є відносно стабільним і не потребує додаткових трансформацій.

Для дослідження впливу зовнішніх факторів на значення інтегрального показника фінансової стійкості страхової компанії побудовано модель SARIMAX [3]. Загальний вигляд моделі з екзогенними змінними має вигляд:

$$\ln(FSI_{4,t}) = c + \varphi_1 * \ln(FSI_{4,t-1}) + \beta_1 * \ln(K1_t) + \beta_2 * \ln(K2_t) + \beta_3 * INF_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

де φ_1 – коефіцієнт авторегресії,

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – оцінений вплив факторів,

ε – випадкові залишки.

Екзогенні змінні, які включено у модель, визначено на основі матриці кореляцій. Додатково розраховано співвідношення зобов'язань до обсягу премій, резервів до зобов'язань для зменшення залежності змінних. За формулою (1) здійснено необхідні розрахунки у середовищі Google Colab мовою програмування Python і отримано таку модель:

$$\ln(\widehat{FSI}_{4,t}) = 0,552 * \ln(FSI_{4,t-1}) + 0,347 * \ln(K1_t) + 2,967 * \ln(K2_t) - 0,011 * INF_t \quad (2)$$

де $\ln(FSI_{4,t})$ – логарифм інтегрального показника фінансової стійкості,

$\ln(K1_t)$ – логарифм співвідношення зобов'язань до обсягу страхових премій,

$\ln(K2_t)$ – логарифм співвідношення резервів до зобов'язань,

INF_t – рівень інфляції (у відсотках).

Авторегресійна компонента показує, що 55% поточного значення FSI_4 пояснено його попереднім станом. Індекс фінансової стійкості страхової компанії має певну інерційність, але може змінюватися під впливом зовнішніх факторів. Зростання співвідношення зобов'язань до обсягу премій на 1% впливає на зростання фінансової стійкості на 0,35%. Сильний вплив має збільшення співвідношення резервів до зобов'язань на 1%, адже це спричиняє зростання індексу фінансової стабільності на 3%. Підвищення рівня інфляції на 1% знижує інтегральний показник на 1,1%.

Побудована модель SARIMAX, яка має вигляд ARIMA(1,0,0)(0,0,0)[0] і враховує вплив зовнішніх змінних, показала значно кращі результати, порівняно з базовими моделями: MAPE = 14,87%; R² = 0,632; AIC = -6,88. Хоча критерій AIC не є найменшим серед вибірки, але середня

абсолютна відсоткова похибка є найменшою. Модель пояснює 63,2% варіації інтегрального показника фінансової стійкості, що на 19% більше, ніж найкраща базова модель. А отже, включення екзогенних факторів суттєво покращує пояснювальну силу моделі. Порівняння фактичних і модельних значень за методом SARIMAX для індексу фінансової стійкості страхової компанії представлено на рис. 1.

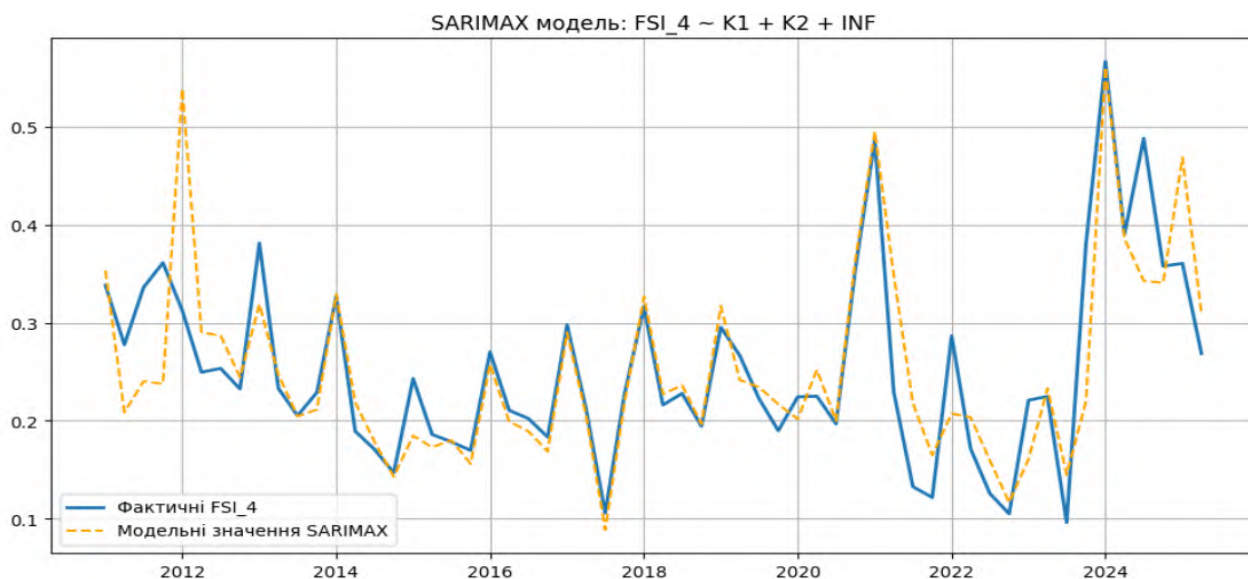


Рисунок 3 – Динаміка фактичних та модельних значень FSI_4

Джерело: розроблено автором

Побудована модель SARIMAX відносно добре повторює загальну тенденцію змін інтегрального показника фінансової стійкості страхової компанії. Значну похибку допущено для періоду 2011-2012 років, в якому модель або сильно переоцінила надійність компанії, або недооцінила. Також помітна невелика різниця для 2025 року – дещо завищене значення індексу фінансової стабільності. Загалом, побудована модель підтверджує наявність статистично значущого зв'язку між факторами.

За результатами перевірки Льюнга-Бокса визначено, що автокореляція залишків відсутня. За тестом Шапіро-Вілка з'ясовано незначне відхилення від нормальності розподілу. Перевіркою Дікі-Фуллера визначено, що ряд стаціонарний. Важливо зазначити, що мультиколінеарності не виявлено.

Побудована в роботі модель SARIMAX(1,0,0)(0,0,0)[0] є статистично адекватною, економічно інтерпретованою та забезпечує високу точність середньострокового прогнозування показника FSI_4. Її застосування може бути ефективним інструментом для страхових компаній, регуляторних органів і аналітиків фінансових ринків з метою моніторингу фінансової стійкості, оцінки впливу зовнішніх факторів та підтримки прийняття рішень у сфері ризик-менеджменту.

Список використаних джерел

1. Огляд небанківського фінансового сектору. Серпень 2025. Національний банк України. 13 с. Київ: НБУ, 2025.
2. Карпов І., Бігун Р., Буров Є. Використання ентропії для адаптивного коригування ваг критеріїв у багатокритеріальному виборі. Grail of Science. Вінниця, 2024. № 40. С. 347–351. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.06.2024.052> (дата звернення: 10.11.2025).
3. Копиця В. О., Кветний Р. Н. Застосування моделей SARIMAX та LSTM для прогнозування заповненості паркомісць // Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, м. Вінниця, 24-27 березня 2025 р. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/49290/24310.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (дата звернення: 10.11.2025).

МОБІЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ РИЗИКІВ У ПОВІТРЯНОМУ ТА ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩАХ

Грицаюк Олег Васильович, молодший науковий співробітник, аспірант,
olegvall@gmail.com¹

¹ Інститут інформаційно-телекомунікаційних технологій та електроніки Національної академії наук України, Київ

Вступ. Тривале перебування в екстремальних умовах середовища без вчасно вжитих заходів безпеки істотно підвищує ризик несприятливих наслідків для здоров'я людини. Перебування у жарких умовах середовища супроводжується підвищеним ризиком перегрівання, включно з розвитком теплового удару. У водному середовищі ризик гіпотермії з'являється вже за температури води нижче 25 °С. У більшості випадків реалізація ефективних заходів безпеки безпосередньо під час перебування в екстремальних умовах є обмеженою. Саме тому ключову роль відіграє завчасне впровадження заходів безпеки, що дозволяють мінімізувати потенційні загрози.

З цією метою застосовують як масові інструменти інформування (офіційні попередження та рекомендації), так і персоналізовані цифрові засоби оцінювання ризику, інтегровані у смартфон. Ключовим підходом є попереднє моделювання умов перебування з подальшою кількісною оцінкою рівня безпеки та максимально припустимої тривалості перебування в екстремальному середовищі.

Розвиток обчислювальних технологій, носимих пристроїв та інтелектуальних інформаційних систем зумовлює формування персоналізованих інструментів охорони здоров'я, орієнтованих на оцінювання та зниження індивідуальних ризиків. Комп'ютеризовані системи підтримки прийняття рішень, mHealth-технології та пов'язані з ними сервіси дають змогу інтегрувати дані про умови середовища, фізичне навантаження та характеристики організму, забезпечуючи завчасне попередження про потенційно небезпечні стани та обґрунтування безпечної тривалості перебування в екстремальних умовах.

Мета роботи полягає в розробленні інформаційної технології з клієнт-серверною архітектурою, яка поєднує мобільні застосунки та математичні моделі терморегуляції людини. Це дає змогу оцінити ризики переохолодження й перегріву з наміром завчасного прогнозування теплового стану організму в повітряному і водному середовищах з урахуванням фізичного навантаження та захисного спорядження. Основна ідея роботи полягає у поєднанні мобільних технологій та сучасних математичних моделей.

Метод. В основу розробленої інформаційної технології покладено комплекс математичних мультикомпаратментальних моделей терморегуляції та теплообміну людини під час фізичної активності за різних умов повітряного та водного середовищ. Комплекс моделей описує процеси теплопродукції, передачу тепла між тканинами та органами, перенесення тепла кровообігом і теплообмін із середовищем в повітрі та воді. Моделі враховують параметри зовнішнього середовища, рівень занурення у воду, характеристики захисного одягу, а також тривалість, інтенсивність і тип фізичної активності.

Розроблено два мобільні застосунки для повітряного та водного середовищ. Перший – для попередження ризиків перегріву, а другий – для оцінювання ризиків переохолодження у водному середовищі.

Архітектура розроблених застосунків. Для поєднання математичної моделі та мобільних технологій було використано клієнт-серверну архітектуру. Клієнтом є розроблений мобільний застосунок (ОС Android), який забезпечує авторизацію та реєстрацію користувачів, введення вхідних даних, а також відображення результатів прогнозування. Серверна частина здійснює контроль доступу до обчислень: приймає запити, формує вхідні дані, передає їх математичній моделі, ініціює обчислення й отримує результати та повертає їх клієнту. Вибраний підхід забезпечує чітке розмежування функцій між клієнтським і серверною підсистемою.

Повітряне середовище. Застосунок призначений для прогнозування теплових реакцій людини на повітрі та оцінки ризику перегріву. Для проведення прогнозування необхідно задати початкові умови середовища, інтенсивність, тривалість фізичного навантаження та одяг. Умови середовища визначаються: температурою повітря, вологістю та швидкістю вітру. Передбачена можливість вибрати тип фізичної активності: біг, ходьба або спокій. Враховується інтенсивність фізичного навантаження та його тривалість в годинах. На вибір є три комплекти одягу: футболка і шорти, футболка і довгі штани та захисне військове спорядження. Результатом моделювання є динаміка внутрішньої температури органів, втрат вологи організмом та показників випаровування поту.

Результати прогнозування для повітряного середовища. Проведено прогнозування впливу інтенсивності фізичного навантаження на людину, яка одягнена в військове захисне спорядження [1]. В якості вхідних даних температура повітря 36 °C, вологість 30 %, швидкість вітру 3 м/с. Розглянуто дві інтенсивності навантаження: помірну (515 Вт) та високу (біг) (781 Вт). За результатами прогнозування визначено, що за помірної інтенсивності тепловий стан людини залишається безпечним у заданих умовах. Натомість за високої інтенсивності ядра температура зростає до 39,3 °C вже на 30-й хвилині, що відповідає небезпечному рівню теплового напруження. Для сценарію з високою інтенсивністю визначено допустиму безпечну тривалість бігу, яка становить 15 хвилин.

Водне середовище. Застосунок призначений для попередження щодо ризиків переохолодження людини у воді. Для проведення прогнозування необхідно задати початкові умови середовища, наявність захисного спорядження, інтенсивність та тривалість фізичного навантаження. Умови середовища характеризуються температурою повітря й води, відносною вологістю повітря та швидкістю вітру. Фізична активність задається інтенсивністю, тривалістю та рівнем занурення у воду. Можливо вибрати короткий або довгий гідрокостюми. Результатом прогнозування є динаміка внутрішньої температури тіла, теплових потоків, серцевого викиду, частоти серцевих скорочень, ударного об'єму крові, показники тремтіння та конвекції тіла з водою.

Результати прогнозування для води. Було проведено прогноз фізіологічних реакцій людини з інтенсивністю 150 та 1000 W, у воді температурою 17-18 °C із захисним костюмом та без нього [2]. Прогнозування показало, що перебування у холодній воді без гідрокостюму тривалий час може призвести до виникнення гіпотермії. Підвищена фізична активність збільшує метаболічне тепловиділення, що знижує ризик гіпотермії та сприяє стабілізації теплового стану організму. Використання гідрокостюму у прохолодній значно зменшує ризик гіпотермії. Але за умов високої інтенсивності фізичного навантаження спостерігається підвищення внутрішньої температури тіла до 38.9 °C, що вказує на ризик перегрівання в гідрокостюмі.

Висновки. У роботі розроблено інформаційну технологію з клієнт-серверною архітектурою, яка поєднує мобільні застосунки та математичні моделі терморегуляції людини для оцінювання ризиків переохолодження та перегріву в повітряному й водному середовищах. Запропоновані застосунки дають змогу завчасно прогнозувати функціональний стан людини за заданих умов середовища.

Список використаних джерел

1. Yermakova, I., Nikolaienko, A., Hrytsaiuk, O., Tadeieva, J., & Kravchenko, P. (2024). Use a smartphone app for predicting human thermal responses in hot environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(128), 39–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300784>
2. Yermakova, I. Y., Nikolaienko, A. Yu., Hrytsaiuk, O. V., Kravchenko, P. M., & Dorosh, O. I. (2023). Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини у холодній воді [Information technology for predicting human thermophysiological state in cold water]. *Cybernetics and Computer Engineering*, 3(213), 20–35. <https://doi.org/10.15407/kvt213.03.020>

АДАПТАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ БЮДЖЕТУ DIGITAL-РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ

Гулев Денис Ігорович, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
smert081@gmail.com¹

Димова Ганна Олегівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри менеджменту,
маркетингу та інформаційних технологій,
dymova_g@ksaeu.kherson.ua¹

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет

В сучасних умовах стрімкої цифровізації, ефективність інвестицій у digital-рекламу стає ключовим фактором конкурентоспроможності. Однак, більшість підприємств, особливо у B2B-сегменті, продовжують управляти рекламними бюджетами за допомогою застарілих (наприклад, «відсоток від продажів») або суб'єктивних (інтуїтивних) методів [1]. Це призводить до неоптимального розподілу коштів, «зливання» бюджетів на неефективні канали та, як наслідок, до втраченої вигоди. Актуальність дослідження полягає у пошуку та адаптації науково-обґрунтованих методів для вирішення цієї управлінської проблеми.

Дослідження проведено на базі київського підприємства ТОВ «Техелектро Сервіс» (B2B-сегмент, електротехнічне обладнання). Аналіз поточної практики управління digital-бюджетом (близько 48 000 грн на квартал) виявив низку системних недоліків, підтверджених SWOT-аналізом, зокрема: (W2) інтуїтивний підхід до розподілу бюджету та (W3) недосконала система аналітики, де оптимізація проводиться за проміжними метриками, такими як вартість кліку, CPC, а не за бізнес-показниками (вартість ліда, CPL).

Кількісна оцінка фактичного розподілу бюджету (табл. 1) показала його неефективність. Керуючись хибною метою (низький CPC), підприємство інвестує 16,7% бюджету (8 000 грн) у канал Google Ads (GDN), де CPL (800 грн) виявляється в 4 рази вищим, ніж у каналі Google Ads (пошук) (200 грн).

Таблиця 1 – Аналіз ефективності фактичного розподілу бюджету (II кв. 2024 р.)

Показник	Google Ads (пошук)	Google Ads (GDN)	Разом / середнє
Витрати (бюджет), грн	40 000,00	8 000,00	48 000,00
Кількість лідів	200	10	210
Вартість ліда (CPL), грн	200,00	800,00	228,57
ROAS (дохід / витрати)	750%	125%	646%

Джерело: розраховано автором на основі даних ТОВ «Техелектро Сервіс»

Як видно з таблиці, канал GDN при поточних налаштуваннях є майже збитковим (ROAS 125%), в той час як канал «пошук» демонструє високу рентабельність.

Для вирішення проблеми розподілу обмеженого ресурсу (бюджету) між конкуруючими альтернативами (каналами) запропоновано використати апарат лінійного програмування, а саме – адаптовану транспортну задачу [2, 3].

Сутність адаптації полягає в наступній інтерпретації елементів моделі:

- «постачальники» (A_i) – джерела фінансування. У нашому випадку – реальний бюджет ($A_1 = 48\,000$ грн) та фіктивний постачальник ($A_2 = 7\,000$ грн) для балансування задачі;
- «споживачі» (B_j) – рекламні канали, що «споживають» бюджет. B_1 («пошук») та B_2 («GDN»);
- «попит» (b_j) – максимальна ринкова ємність каналу, яку він здатен ефективно освоїти ($b_1 = 45\,000$ грн, $b_2 = 10\,000$ грн);
- «тариф» (C_{ij}) – показник ефективності, який максимізуємо. Використано показник, обернений до CPL (кількість лідів на 1 грн): $C_{11} = \frac{1}{200} = 0,005$; $C_{12} = \frac{1}{800} = 0,00125$.

Цільова функція – максимізувати загальну кількість лідів ($Z = \sum(C_{ij} \cdot X_{ij}) \rightarrow \max$) при дотриманні обмежень попиту та пропозиції.

Збалансована матриця була розв’язана методом максимального елемента з подальшою перевіркою на оптимальність методом потенціалів. Отриманий оптимальний план (табл. 2) кардинально відрізняється від фактичного.

Таблиця 2 – Оптимальний план розподілу бюджету (за результатами моделювання)

	B_1 (пошук)	B_2 (GDN)	Запаси (A_i)
A_1 (бюджет)	45 000	3 000	48 000
A_2 (фіктивний)	0	7 000	7 000
Попит (B_j)	45 000	10 000	55 000

Джерело: розраховано автором

Модель рекомендує повністю наситити найефективніший канал «пошук» (інвестувавши в нього 45 000 грн згідно його ринкової ємності) і лише залишок бюджету (3 000 грн) спрямувати на менш ефективний канал «GDN».

Порівняння фактичного стану з прогнозованим результатом від впровадження моделі (табл. 3) доводить її високу економічну доцільність.

Таблиця 3 – Порівняння ефективності планів розподілу бюджету

Показник	Факт (інтуїтивний план)	Модель (оптимальний план)	Ефект (приріст)
Загальний бюджет, грн	48 000	48 000	0
Кількість лідів	210	229	+19 лідів (+9,0%)
Середній CPL, грн	228,6	209,6	-8,3%
Прогнозований дохід, грн	525 000	572 500	+47 500 грн
Прогнозований ROAS	1094%	1193%	+99 п.п.

Джерело: розраховано автором

Адаптація транспортної задачі лінійного програмування є дієвим інструментом для переходу від суб’єктивного до науково-обґрунтованого управління рекламним бюджетом. Впровадження запропонованої моделі на ТОВ «Техелектро Сервіс» дозволить при незмінному бюджеті (48 000 грн на квартал) отримувати на 9,0% більше лідів, знизити середню вартість залучення клієнта (CPL) на 8,3% та отримати близько 190 000 грн додаткового річного доходу. Практична реалізація моделі може бути здійснена за допомогою стандартних інструментів (надбудови «Розв’язувач» в MS Excel) за умови коректного налаштування наскрізної аналітики на підприємстві.

Список використаних джерел:

1. Котлер Ф., Картаджайя Х., Сетьяван А. Маркетинг 4.0. Від традиційного до цифрового. Київ: КМ-Букс, 2018. 208 с.
2. Таха Х. А. Вступ до дослідження операцій / пер. з англ. 9-те вид. Київ: Видавничий дім «Вільямс», 2016. 912 с.
3. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник. 7-ме вид. Київ: ЗАТ «Віпол», 2013. 688 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ФУНКЦІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ОПТИМІЗОВАНИХ ЗА СКЛАДОМ ШЛЕЙФІВ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Жаборовський Євгеній Анатолійович,

курсант 2-го курсу ННІ пожежної та техногенної безпеки,

zhaborovskyi.yevhenii_2024b@nuczu.edu.ua¹

Антошкін Олексій Анатолійович, к.т.н, доцент,

доцент кафедри автоматичних систем безпеки та електроустановок,

alex_fire06@ukr.net

¹ Національний університет цивільного захисту України

В роботі [1] було представлено прикладний програмний комплекс «Веста» для проектування шлейфів систем пожежної сигналізації [2] з оптимізованим складом. Оптимізація відбувається зпочатку по кількості сповіщувачів, а потім, при безпосередньому формуванні шлейфу, по його довжині. Розроблений програмний продукт може бути використаний як складова автоматизованого робочого місця інженера-проектувальника систем пожежної сигналізації, який дозволить суттєво заощадити ресурси на проектування вказаних систем. Бо саме визначення кількості та місця розташування пожежних сповіщувачів, об'єднання їх в шлейфи є етапом, на реалізацію якого витрачається найбільше часу.

Структурну схему програмного комплексу «Веста» наведено на рис. 1.

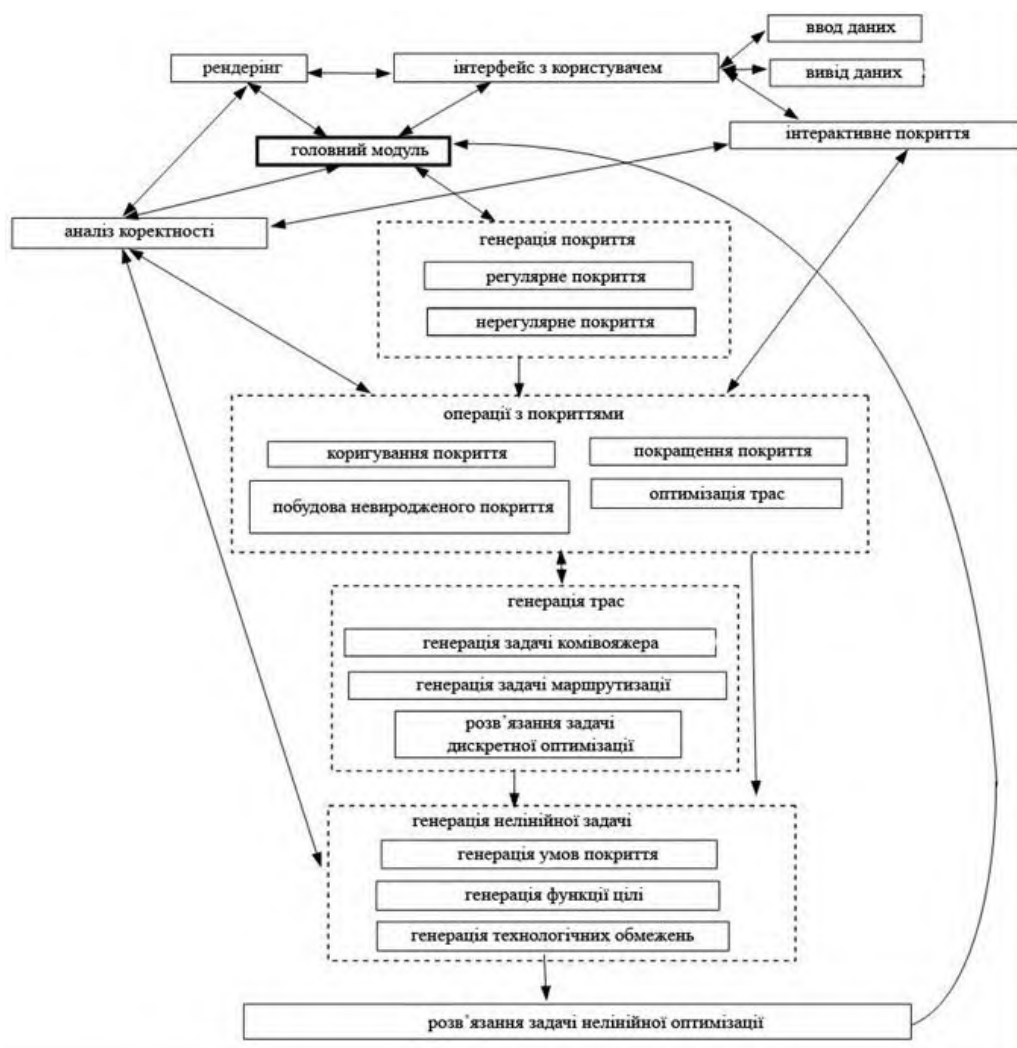


Рисунок 1 – Структура прикладного програмного комплексу «Веста»

З точки зору математичного моделювання, процес формування шлейфів систем пожежної сигналізації можна розглядати як задачу пошуку оптимальної топології з'єднання елементів у межах певного просторового середовища. Мета такого моделювання полягає у мінімізації загальної довжини з'єднувальних ліній або сумарних витрат на монтаж при одночасному забезпеченні вимог до надійності, контролепридатності та структурної узгодженості системи.

Якщо шлейфи мають кільцеву топологію, тобто початок і кінець лінії замикаються в єдину петлю, задача зводиться до класичної задачі комівояжера. У цьому випадку необхідно знайти найкоротший маршрут, який проходить через усі задані точки (сповіщувачі) рівно один раз і повертається до початкової точки.

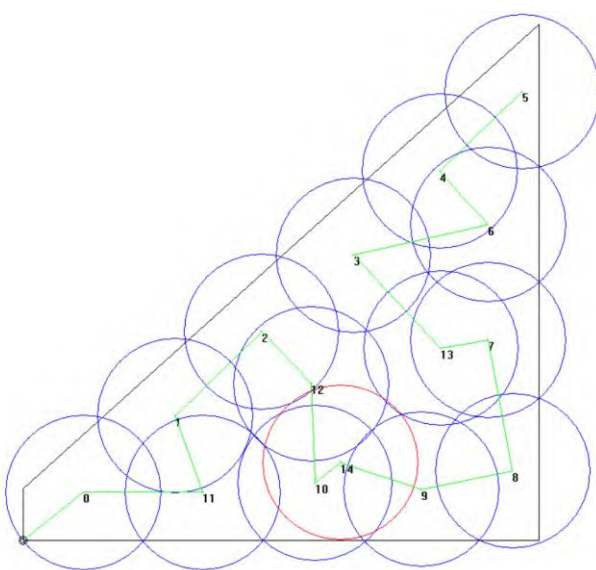
У разі ж формування радіальної топології, коли всі шлейфи мають початок у центральному вузлі (приладі приймально-контрольному пожежному) і розгалужуються у напрямку до сповіщувачів без зворотного з'єднання, задача набуває характеру маршрутизації. Тут йдеться про пошук найкоротших шляхів від центрального вузла до всіх точок підключення з урахуванням обмежень на довжину окремих гілок, кількість під'єднаних елементів у кожному шлейфі та вимог до симетрії або пріоритетності маршрутів.

Таким чином, формування шлейфів систем пожежної сигналізації є типовою задачею структурного оптимального проєктування, у якій поєднуються геометричні, топологічні та алгоритмічні аспекти. Застосування методів комбінаторної оптимізації дає змогу не лише мінімізувати довжину шлейфів, але й враховувати експлуатаційні, економічні та надійнісні критерії, що є важливими для побудови сучасних автоматизованих систем пожежного захисту.

Під час формування шлейфів за допомогою комплексу «Веста» використовується нерегулярна схема [3] розміщення пожежних сповіщувачів. Це не суперечить вимогам чинних нормативних документів за умови дотримання обов'язкових вимог до шлейфів систем пожежної сигналізації.

Однією з функцій програмного комплексу «Веста», яка не була досліджена в роботі [1], є формування шлейфів з урахуванням переважного напрямку прокладання шлейфів – горизонтального чи вертикального. Впровадження функції пріоритетності напрямків прокладання шлейфів може суттєво спростити процедуру монтажу шлейфів і, відповідно, зменшити її вартість.

В процесі проведення досліджень з метою оцінки впливу функції пріоритетності на параметри оптимізації було побудовано шлейфи системи пожежної сигналізації для заданого приміщення без використання функції пріоритетності (рис. 2) та з нею (рис. 3).



2761.23 2981.13 27394.79

Рисунок 2 – Шлейф без використання функції пріоритетності

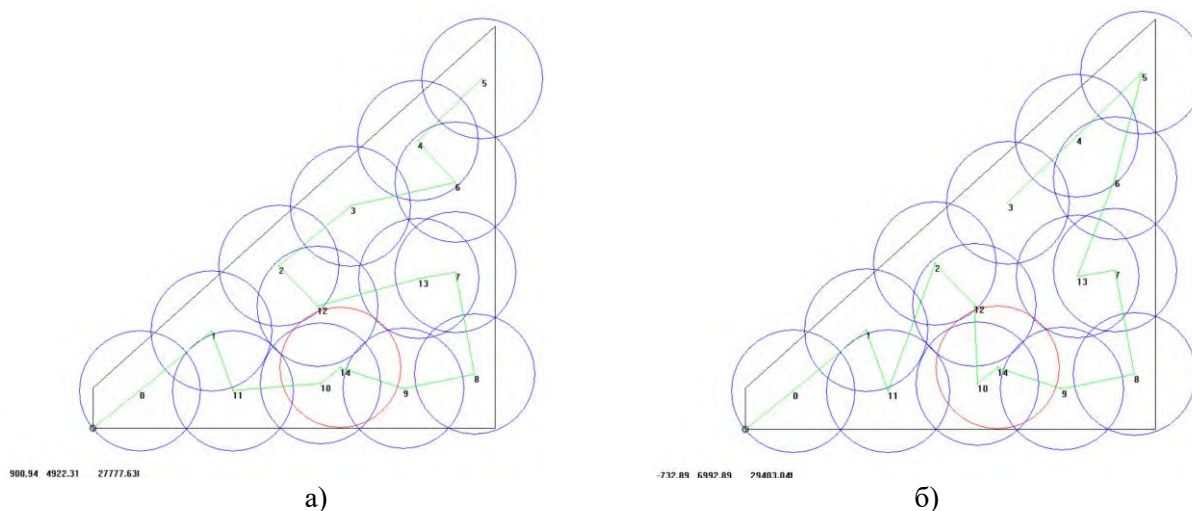


Рисунок 3 – Шлейф з використання функції пріоритетності: а) горизонтальна; б) вертикальна.

В усіх випадках кількість сповіщувачів залишалася незмінною, оскільки сама функція пріоритетності не впливає на процедуру визначення кількості та місця їх розташування. Вона починає працювати на етапі оптимізації маршруту прокладання шлейфу – тобто на рівні визначення послідовності з'єднання елементів системи.

Отримані результати свідчать, що довжина шлейфу без урахування пріоритетності становить 27 394 одиниці, при застосуванні горизонтального пріоритету – 27 777 одиниць, а у випадку вертикального пріоритету – 29 403 одиниці. Таким чином, мінімальне значення довжини спостерігається у базовому варіанті без пріоритетності. Це пояснюється тим, що під час оптимізації без додаткових обмежень алгоритм має більшу свободу пошуку і може обирати найкоротші маршрути з'єднання сповіщувачів.

Додавання функції пріоритетності, як горизонтальної, так і вертикальної, змінює логіку побудови маршруту. Алгоритм оптимізації отримує додаткові умови, що вимагають врахування напрямку зв'язків між елементами або структурної ієрархії приміщення. Такі обмеження ускладнюють процедуру пошуку оптимального шляху та звужують простір можливих рішень. Як наслідок, довжина шлейфу зростає в розглянутому прикладі приміщення порівняно з базовим сценарієм.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують, що включення функцій пріоритетності до алгоритмів оптимізації шлейфів систем пожежної сигналізації впливає на кінцеві технічні параметри, зокрема на довжину шлейфу, але водночас підвищує системну узгодженість, структурну стабільність і передбачуваність її роботи.

Але такі висновки можуть бути зроблені тільки після проведення серії обчислювальних експериментів. А наведені результати можуть бути поки розглянуті лише як аргументація для вибору напрямку досліджень на подальше.

Список використаних джерел

1. Антошкін О.А., Нешпор О.В. Розробка засобу автоматизації проектування шлейфів пожежної сигналізації з оптимізованим складом// Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2023. Харків, НУЦЗУ – №1 (37). – С. 203-218. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18146>
2. Дерев'янка О.А., Бондаренко С.М., Христин В.В., Антошкін О.А. Системи пожежної та охоронної сигналізації. Текст лекцій. / Х.: НУЦЗУ, 2008. 149 с. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/407>
3. Cortés J., Martínez S., Bullo F. Spatially-distributed coverage optimization and control with limited-range interactions [Електронний ресурс] // arXiv preprint. – 2004. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/math/0401297> (дата звернення: 06.11.2025).

ПЛОЩИНА ПУАНКАРЕ ТА РЕКУРЕНТНІ ДІАГРАМИ ЯК ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ ХАОТИЧНИХ РЕЖИМІВ

Лупаренко Олена Валентинівна, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук, luparenko_e_v@pstu.edu¹

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Дослідження нелінійних динамічних систем залишається однією з ключових проблем сучасної прикладної математики. Значна кількість природних і технічних процесів має нелінійну природу, через що їхня поведінка може бути складною, непередбачуваною й чутливою до початкових умов. Особливий інтерес викликають дисипативні системи, у яких відбувається зменшення фазового об'єму і можливе виникнення хаотичних атракторів. Вивчення таких структур потребує не лише кількісних методів аналізу, а й ефективних засобів геометричної інтерпретації динаміки.

У роботі розглядаються неперервні нелінійні динамічні системи, які описуються системами трьох автономних звичайних диференціальних рівнянь першого порядку з гладкою правою частиною:

$$\frac{dx}{dt} = f_1(x, y, z), \quad \frac{dy}{dt} = f_2(x, y, z), \quad \frac{dz}{dt} = f_3(x, y, z), \quad (1)$$

де x, y, z – фазові змінні, t – час, f_i – нелінійні функції, які визначають динаміку.

Фазовий простір таких систем є областю у тривимірному просторі R^3 . До найпоширеніших прикладів тривимірних нелінійних систем належать моделі **Лоренца**, **Росслера** та **Чуа**, які демонструють характерні риси нелінійної динаміки – рівноважні стани, граничні цикли, біфуркаційні переходи та хаотичні атрактори.

Серед найбільш інформативних методів якісного аналізу хаосу виділяють **площину Пуанкаре** та **рекурентні діаграми**. Вони дозволяють досліджувати складну поведінку систем у зниженій розмірності, виявляючи приховані закономірності у структурі фазових траєкторій. Якщо традиційні чисельні характеристики – такі як показники Ляпунова чи фрактальна розмірність – дають кількісну оцінку ступеня хаотичності, то ці два методи забезпечують наочне уявлення про внутрішню організацію руху.

Площина Пуанкаре використовується для спостереження динаміки у вигляді перетину траєкторії системи з фіксованою площиною у фазовому просторі. У тривимірних автономних системах, наприклад у моделях Лоренца, Росслера чи Чуа, така площина визначається рівнянням $ax + by + cz + d = 0$.

Під час інтегрування системи чисельним методом (у нашому випадку – методом Рунге–Кутти четвертого порядку) відслідковуються моменти, коли траєкторія змінює знак функції $S = ax + by + cz + d$. У ці моменти координати точки фіксуються, утворюючи множину перетинів. Для періодичних коливань множина перетинів складається з невеликої кількості точок, що відповідає сталому циклу. При квазірегулярних режимах точки утворюють замкнену криву, а при хаотичних – заповнюють певну область площини, утворюючи фрактальну структуру. Саме форма і щільність розподілу точок на площині Пуанкаре дозволяє робити висновки про характер динаміки. У середовищі MATLAB реалізовано програмну процедуру побудови площини Пуанкаре з можливістю параметричного вибору площини перетину та інтерактивного відображення результатів. Завдяки цьому дослідник може у реальному часі спостерігати зміну геометрії множини перетинів при варіюванні параметрів системи.

Застосування цього методу до класичної системи Лоренца $\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x)$, $\frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y$, $\frac{dz}{dt} = xy - \beta z$ ($\sigma = 10$, $\beta = \frac{8}{3}$), показало, що при зміні параметра

ρ у діапазоні від 24 до 28 відбувається перехід від регулярного до хаотичного режиму (площина Пуанкаре задана рівнянням $z = 27$). У періодичній області спостерігається чітка впорядкована структура точок, тоді як при хаосі вони заповнюють площину без видимого порядку, формуючи дивний атрактор (рис. 1,2). Для системи Росслера аналогічні спостереження виявилися менш різкими, що пояснюється її більш плавними біфуркаційними переходами.

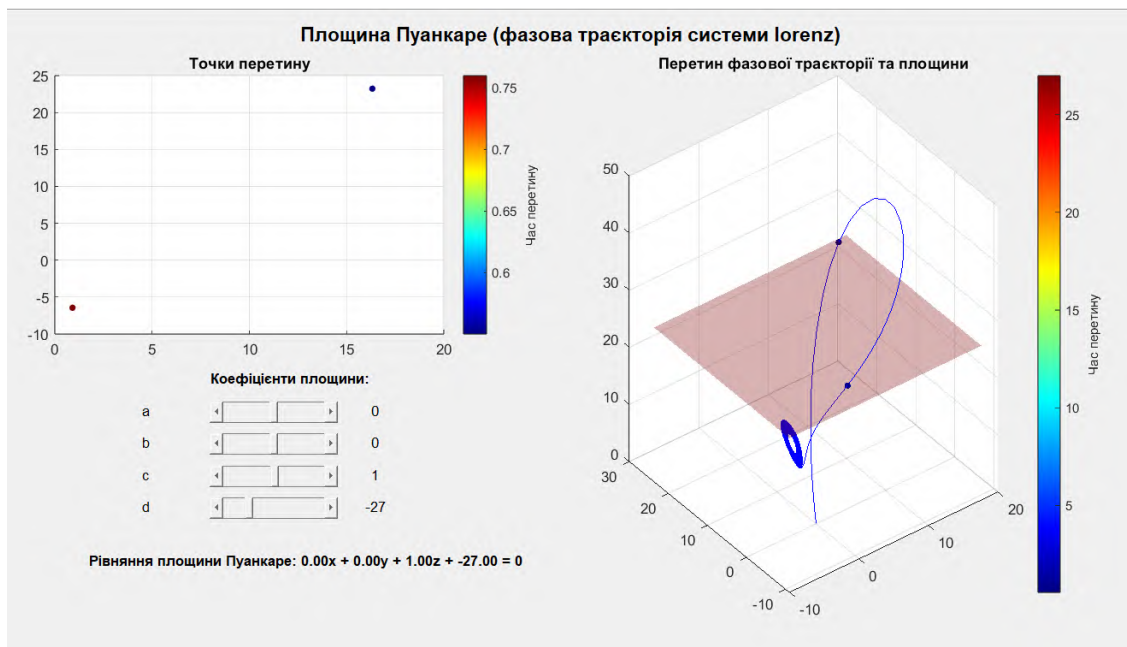


Рисунок 1 – Площина Пуанкаре для системи Лоренца при $\rho = 24$
 (періодичний режим – скінчена множина точок)

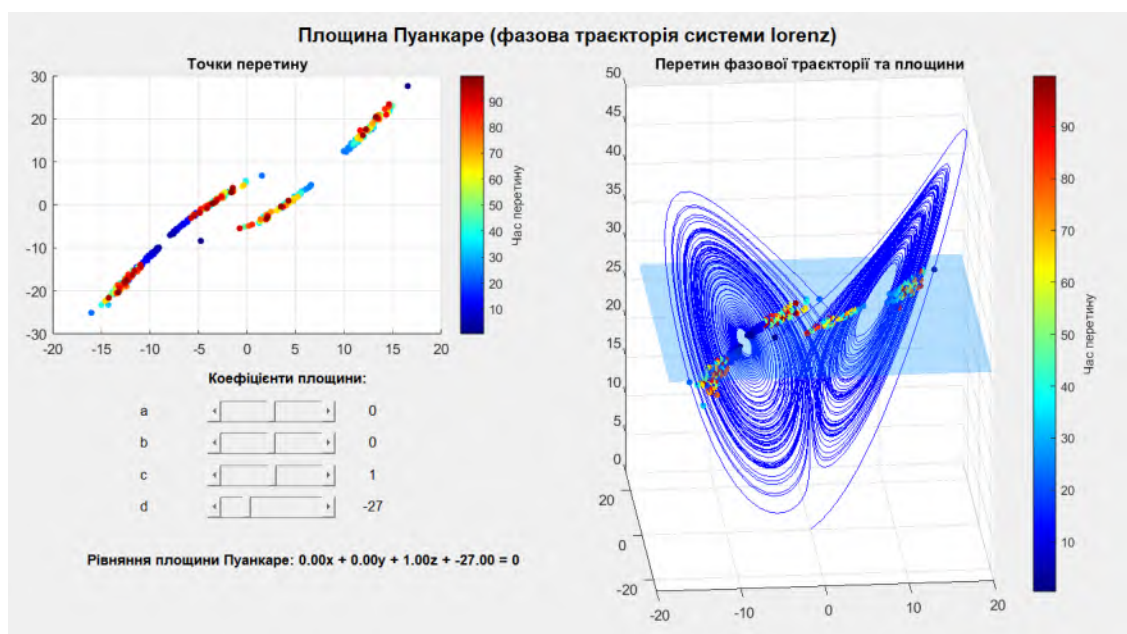


Рисунок 2 – Площина Пуанкаре для системи Лоренца при $\rho = 28$
 (хаотичний режим – фрактальна структура перетинів)

Іншим важливим засобом дослідження є **рекурентні діаграми**, запропоновані Н. Марваном для візуалізації моментів, коли система повертається у близький до попереднього стан. Рекурентна діаграма базується на побудові матриці рекурентності:

$$R_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|X_i - X_j\|), \quad (2)$$

де X_i – вектор стану у момент часу t_i , ε – порогове значення близькості, $\Theta(\cdot)$ – функція Хевісайда, що дорівнює 1, якщо аргумент додатний, і 0 – інакше.

Якщо відстань між двома станами менша за ε , у відповідному місці матриці ставиться точка. Отриманий рисунок відображає часові закономірності динаміки: регулярні процеси породжують чіткі діагональні лінії, а хаотичні – нерівномірну зернисту структуру. Таким чином, рекурентна діаграма дозволяє візуально оцінити ступінь регулярності або хаотичності руху без попереднього аналізу системи рівнянь.

У MATLAB реалізовано алгоритм побудови рекурентних діаграм із можливістю вибору координати для аналізу, зміни параметра ε та масштабування. Додатково створено модуль побудови **поверненої діаграми**, яка відображає залежність між послідовними значеннями однієї змінної $x_{n+1} = F(x_n)$. Ця діаграма дозволяє виявити нелінійні залежності у траєкторії та оцінити складність атрактора.

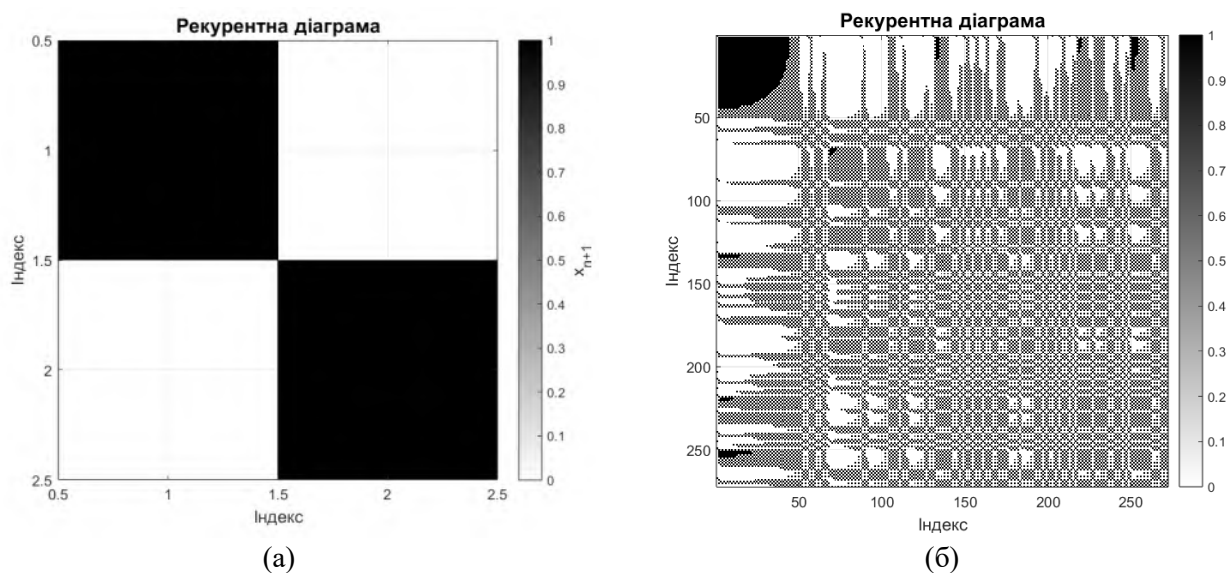


Рисунок 3 – Рекурентні діаграми для системи Лоренца:
 (а) регулярний режим ($\rho = 24$); (б) хаотичний режим ($\rho = 28$)

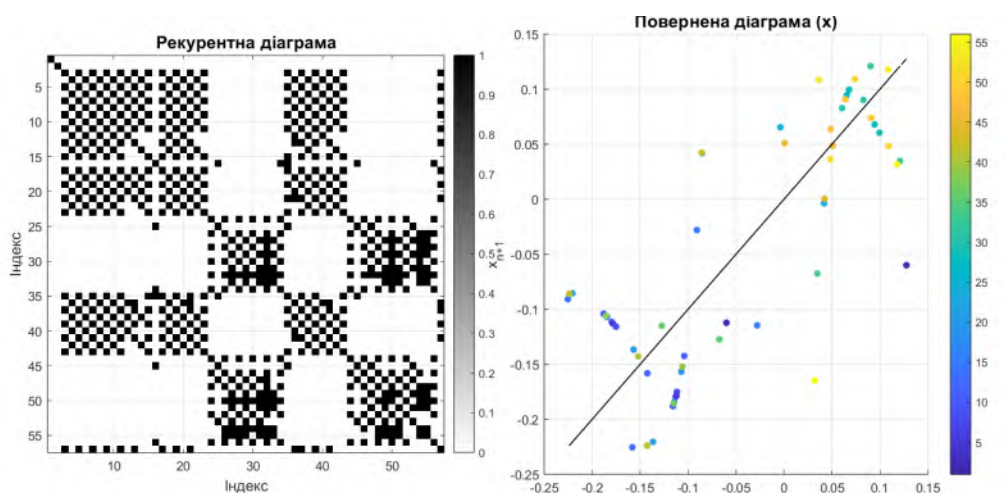


Рисунок 4 – Рекурентна та повернена діаграма для системи Чуа
 $\frac{dx}{dt} = a(y - x^3 - cx), \quad \frac{dy}{dt} = x - y + z, \quad \frac{dz}{dt} = -\beta y \quad (a=10, \beta=16, c=-0.143)$

Порівняльний аналіз двох методів показує, що вони мають різну аналітичну спрямованість. Площина Пуанкаре дозволяє відстежити геометричну структуру траєкторій у фазовому просторі, тоді як рекурентна діаграма надає інформацію про часову структуру руху та ступінь повторюваності станів. Поєднання цих підходів дає змогу отримати повну картину динаміки системи та виявити навіть незначні зміни, що передують біфуркаціям.

Виконані експерименти підтвердили, що перехід від регулярності до хаосу супроводжується поступовою деградацією впорядкованої структури на обох типах діаграм. Зокрема, на площині Пуанкаре множина перетинів переходить від замкнених кривих до щільної фрактальної області, а на рекурентній діаграмі – від чітких паралельних смуг до хаотичного розподілу точок. Така зміна є універсальною ознакою виникнення хаотичної поведінки у системах диференціальних рівнянь.

Практична цінність роботи полягає у створенні програмного інструментарію, що дозволяє проводити інтерактивний аналіз динамічних режимів. Реалізовані у MATLAB модулі можуть бути використані як у наукових дослідженнях – для аналізу хаосу у фізичних, біомедичних чи технічних системах, – так і у навчальному процесі. Візуалізація атракторів, побудова площин Пуанкаре та рекурентних діаграм значно полегшує сприйняття складних понять нелінійної динаміки студентами технічних спеціальностей.

Таким чином, поєднання площини Пуанкаре та рекурентного аналізу утворює ефективний підхід до дослідження хаотичних систем, що базується одночасно на геометричній і часовій інтерпретації процесу. Розроблені алгоритми можуть бути розширені для дослідження систем більшої розмірності або для автоматичного виявлення біфуркацій за допомогою аналізу змін топології рекурентних структур.

Список використаних джерел

1. Benettin, G., Galgani, L., Giorgilli, A., Strelcyn, J. Lyapunov characteristic exponents for smooth dynamical systems and for Hamiltonian systems: a method for computing all of them. Part 1: Theory / G. Benettin, L. Galgani, A. Giorgilli, J. Strelcyn // *Meccanica*. – 1980. – Vol. 15. – P. 9–30.
2. Wolf, A., Swift, J., Swinney, H., Vastano, J. Determining Lyapunov exponents from a time series / A. Wolf, J. Swift, H. Swinney, J. Vastano // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 1985. – Vol. 16, No. 3. – P. 285–317.
3. Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., Kurths, J. Trends in recurrence analysis of dynamical systems / N. Marwan, M. C. Romano, M. Thiel, J. Kurths // *European Physical Journal Special Topics*. – 2023. – Vol. 232, No. 1–2. – P. 1623–1648. – DOI: 10.1140/epjs/s11734-022-00739-8.
4. Sprott, J. C. *Chaos and Time-Series Analysis* / J. C. Sprott. – Oxford : Oxford University Press, 2003. – 539 p.

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF IMPURITY TRANSFER DURING SOLIDIFICATION OF A STEEL INGOT

Nadryhailo Tetiana, PhD (Tech.), Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Systems Analysis, ntatiana62@gmail.com¹

Chernetskiy Vladislav, student, chernetskiyvlad09@gmail.com¹

¹Dniprovsky State Technical University, Kamianske

The solidification process of a steel ingot is a complex phenomenon involving heat transfer, melt hydrodynamics, and impurity (solute) transport. During solidification, segregation of solutes occurs, known as macrosegregation, which leads to chemical inhomogeneity of the metal. This may cause defects such as negative segregation in the lower part of the ingot, positive segregation in the upper part, and channel-type segregates (A-segregates). Mathematical and computer modeling make it possible to predict solute distribution, optimize the casting process, and reduce defects.

This topic is relevant for metallurgy, since steel is a primary material in industry. Mathematical models are based on conservation equations of mass, momentum, energy, and solute concentration, taking phase transitions into account. The present work considers a three-phase model (liquid, equiaxed grains, and columnar grains) applied to an ingot of mass 2.45 t.

The goal of the work is the development and analysis of a solute transport model for predicting macrosegregation.

The foundation of the mathematical model is a three-phase mixed columnar-equiaxed solidification model, where the phases include: liquid (*l*), equiaxed grains (*e*) and columnar grains (*c*). The volume fractions of the phases satisfy the equation [1]:

$$f_l + f_e + f_c = 1. \quad (1)$$

Mass conservation for the liquid phases is defined by the equation:

$$\frac{\partial(\rho_l f_l)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_l f_l \vec{v}_l) = \dot{m}_{ce} + \dot{m}_{le}, \quad (2)$$

where $\dot{m}_{ce}$ and $\dot{m}_{le}$ are the mass transfer rates between phases.

The dynamics of the liquid phase are described by the Navier-Stokes equation with source terms:

$$\frac{\partial(\rho_l f_l \vec{v}_l)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_l f_l \vec{v}_l \otimes \vec{v}_l) = -f_l \vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot (\mu_l f_l \vec{\nabla} \vec{v}_l) + M_{cl} + M_{el} + \rho_l f_l \vec{g} (\beta_T (T - T_{ref}) + \beta_c (c_l - c_{ref})), \quad (3)$$

where M_{cl} , M_{el} – drag forces, β_T , β_c – are coefficients of thermal and solutal expansion (Biusinesq approximation for buoyancy).

Enthalpy conservation for the liquid phase is given by :

$$\frac{\partial(f_l h_l)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (f_l h_l \vec{v}_l) = \frac{Q_{cl} + Q_{el}}{\rho_l}, \quad (4)$$

where Q_{cl} , Q_{el} – are heat exchange terms between phases.

The solute concentration conservation equation for the liquid phase has the form:

$$\frac{\partial(f_l \rho_l c_l)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (f_l \rho_l c_l \vec{v}_l) = f_l \rho_l D_l \vec{\nabla}^2 c_l + \Sigma_c + \Sigma_e, \quad (5)$$

where $\Sigma_c = \dot{m}_{cl}(c_l - c_c)$, $\Sigma_e = \dot{m}_{le}(c_l - c_e)$ – solute exchange terms, D_l – the diffusion coefficient in the liquid.

Analogous equations apply to the equiaxed and columnar phases, taking into account grain motion (sedimentation of equiaxed grains)

The model is supplemented by:

– the nucleation equation for equiaxed grains(heterogeneous, three-parameter):

$$\dot{N}_e = n_{max} \frac{\Delta T_N}{\sqrt{2\pi} \Delta T_\sigma} \exp\left(-\frac{(\Delta T_N - \Delta T)^2}{2 \Delta T_\sigma^2}\right), \quad (6)$$

where $\Delta T = T_f + m c_l - T$ – is the undercooling, m – the liquidus slope;

– The equation of equiaxed grain growth:

–

$$\frac{dR_e}{dt} = \frac{D_l}{c_l - c_e} \left(\frac{\partial c_l}{\partial r} \right)_{r=R_e}, \quad (7)$$

Considering back diffusion in the solid phase;

– the growth equation for columnar dendrites (tip and trunk);

The average concentration for macrosegregation is determined by:

$$c_{mix} = f_l c_l + f_e c_e + f_c c_c, \quad (8)$$

The segregation index:

$$\frac{c_{mix} - c_0}{c_0} \quad (9)$$

Permeability in the mushy zone (Blake-Kozeny) is given by:

$$K = \frac{\lambda^2}{180} \frac{(1 - f_s)}{f_s^2}, \quad f_s = f_e + f_c. \quad (10)$$

The model accounts for the columnar-equiaxed transition CET, when $f_e = 0.49$ ahead of the columnar front. Thermodynamic equilibrium at the interfaces is taken as: $c_s = k c_l$, where k – is the partition coefficient.

Computer simulation was performed for a steel ingot Fe–0.45 wt.% with mass 2,45 т, and a square cross –section(approximated as 2D-axisymmetric) [2]. Geometric dimensions: height ~1,5 м, side 0,5 м at the base, with a hot top. Initial temperature was seated to 1805,15 K, initial concentration – $c_0 = 0,45$ wt.%.

ANSYS-Fluent 14.5 software was used for computer modeling. Boundary conditions for temperature included mold cooling with a heat transfer coefficient H , based on experimental data. Thermo physical properties were chosen as follows: density $\rho = 6990$ кг/м³, heat capacity $C_p = 500$ J/kg·K, thermal conductivity $k = 34$ Вт/м·K, latent heat $L = 2,71 \times 10^5$ J/kg, viscosity $\mu = 4,2 \times 10^{-3}$ кг/м·с, diffusion coefficients $D_l = 2,0 \times 10^{-8}$ м²/с, $D_{e,c} = 1,0 \times 10^{-9}$ м²/с, $\beta_T = 1,07 \times 10^{-4}$ K⁻¹, $\beta_c = 1,4 \times 10^{-2}$ (wt.%)⁻¹.

The grid was chosen 5–15 мм, time step 10^{-2} – 10^{-3} с, iterations continue until convergence (residuals < 10^{-4}). The model considers thermosolutal convectional and grain sedimentation, while shrinkage is neglected.

Parametric studies were carried out to determine the influence of grid size and nucleation parameter (n_{max}) on segregation.

The modeling results show that the model predicts qualitative agreement with experimental observations [3–4]. The overall picture obtained includes: positive segregation in the hot top (index up to +0,22) due to upward flow of solute-enriched melt; conical negative segregation in the lower part (index -0,30 to -0,32) due to sedimentation equiaxed grains; quasi A- segregates (bands) in the mid-radius zone.

The carbon distribution along the central axis (Fig.1): negative segregation in the lower part (height <0,3–0,4 м, index -0,3), transitioning to positive segregation in the upper part (height >1,0 м, index +0,22). The curve shows a smooth increase from negative to positive values, with local fluctuations caused by mini-ingots. The model overestimates the intensity of negative segregation compared to experiment. When n_{max} decreases, the height of the conical zone decreases, , but segregation range intensifies (-0,34 to +0,22).

At mid-height, carbon concentration increases from the center (negative segregation in the equiaxed zone) toward the wall (positive segregation in the columnar zone). Alternating positive-negative bands (A-segregates) appear with amplitude $\Delta c_{mix}/c_0 \approx 0,05$ – $0,1$. The CET line separates zones: lower – equiaxed, upper – mixed/columnar. Band density ~5–10 per м, intensity depends on flow instability (Fig. 2).

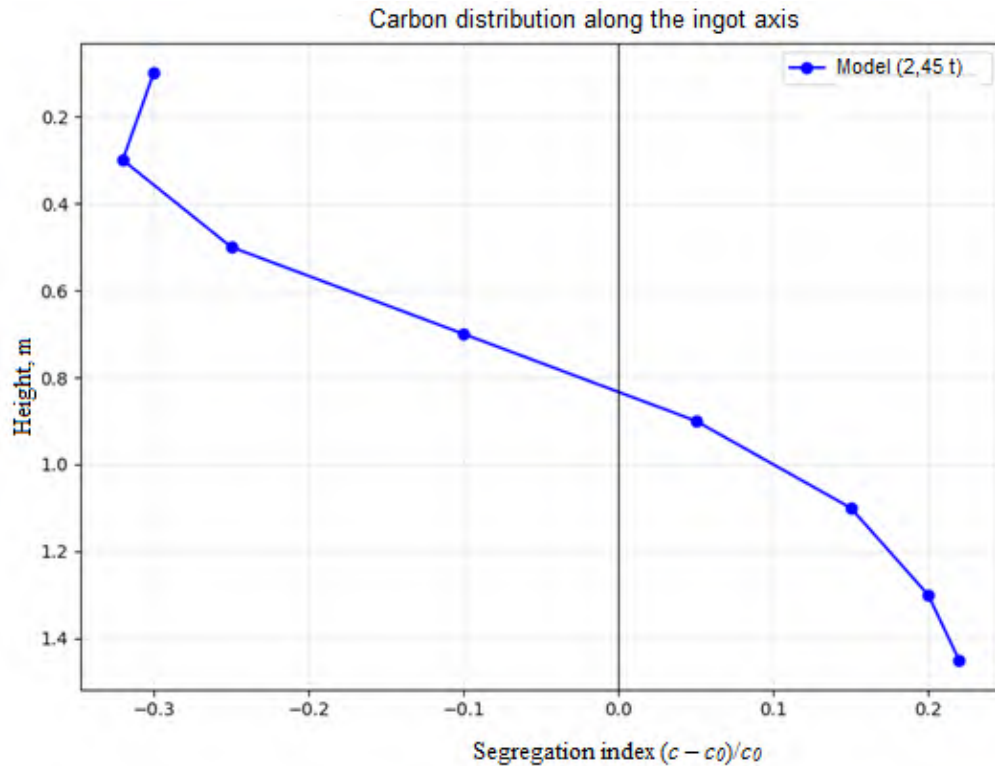


Figure 1 – Graph of solute along the ingot height (along central axis)

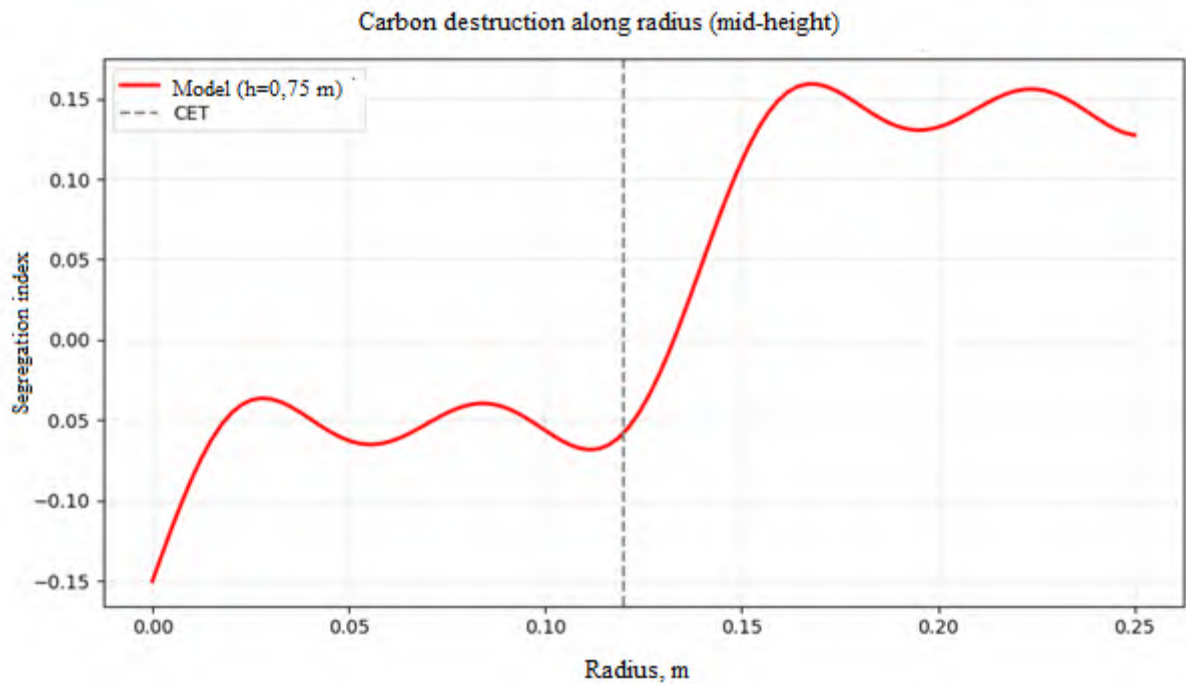


Figure 2 – Graph of solute destruction along radius (mid-height)

These graphs illustrative the influence of convection and sedimentation on solute transport: sedimentation produces negative segregation in the bottom, convection – positive segregation in the top.

Conclusions. Three-phases mathematical model makes it possible to predict macrosegregation in a still ingot, considering convection, sedimentation and CET. The computer modeling shows negative segregation at the bottom, positive segregation in the top and A-segregates. The results are consistent with experiment, but require refinement of nucleation parameters [5]. The model is useful for casting

optimization and defect reduction. Future research directions include incorporation of shrinkage and multicomponent alloys.

References

1. Combeau H., et al. Mathematical modeling of macrosegregation during solidification of binary metallic alloys. Journal of Materials Science. 2017; 52(5):2575–91. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X17304894>
2. Li J., Wu M., Ludwig A., Kharicha A. Simulation of macrosegregation in a 2.45-ton steel ingot using a three-phase mixed columnar-equiaxed model. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014; 72:668–79. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3990445/>
3. Tu W., Shen H., Liu B. Modeling of Macrosegregation during Solidification of Steel Ingot Casting. In: Nastac L., et al. (eds) CFD Modeling and Simulation in Materials Processing 2016. Springer. 2016. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-48117-3_8
4. Wu M., Ludwig A., Kharicha A. A four phase model for the macrosegregation and shrinkage cavity during solidification of steel ingot. Applied Thermal Engineering. 2017; 113:1231–43. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X16304474>
5. Pickering E.J. Macrosegregation in Steel Ingots: The Applicability of Modelling and Characterisation Techniques. ISIJ International. 2013; 53(6):935–49. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/53/6/53_935/_article

МОДИФІКАЦІЯ ЙМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ АВТОТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ВИТРАТ ПАЛЬНОГО

Сергієнко Анастасія Валентинівна, канд. техн. наук, доцент, зав.кафедрою
інформатики, sergienko_a_v@pstu.edu¹

Тригуб Володимир Петрович, студент групи З-24-ВТ-М, t.volodymyr19@gmail.com¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У сфері управління корпоративними автопарками традиційні підходи до технічного обслуговування (ТО) базуються переважно на регламентному інтервалі пробігу. Такий підхід є економічно неефективним: він або призводить до зайвих витрат на обслуговування справних вузлів, або допускає критичні поломки між інтервалами ТО. У магістерській роботі запропоновано та реалізовано новий підхід до автоматизованого аудиту технічного стану, що базується на гіпотезі кореляції між технічною деградацією вузлів автомобіля та аномальним зростанням витрат пального.

Ключовою науковою новизною роботи є модифікація класичного розподілу Вейбулла для оцінки надійності транспортних засобів. Стандартна модель $P(t) = e^{-(t/T)^k}$ розраховує ймовірність безвідмовної роботи лише як функцію часу або пробігу t . У роботі запропоновано ввести динамічний коефіцієнт корекції, що залежить від інтегрального показника перевитрат пального. Гіпотеза полягає у тому, що зростання перевитрати пального свідчить про погіршення технічного стану, а отже – про зменшення залишкового ресурсу. Це дозволяє зміщувати криву надійності вліво («пришвидшувати» очікувану відмову) при виявленні систематичних паливних аномалій, які не пояснюються дорожніми умовами (рис. 1).

Для практичної реалізації розроблено вебсервіс, який автоматизує збір даних про заправки та пробіг, і візуалізує ризики. Для реалізації поставлених завдань обрано наступний стек технологій: база даних MongoDB (документоорієнтована СУБД для гнучкого зберігання даних), серверна платформа – Node.js + Express, клієнтська частина – React.js, візуалізація – Chart.js. Експериментальне моделювання підтвердило ефективність методу. На графіках надійності зафіксовано, що для автомобіля з критичними відхиленнями у паливній системі розрахункова

ймовірність безвідмовної роботи падає нижче 50% вже на позначці 8500 км, тоді як стандартна модель прогнозувала б безпечну експлуатацію до 15000 км.

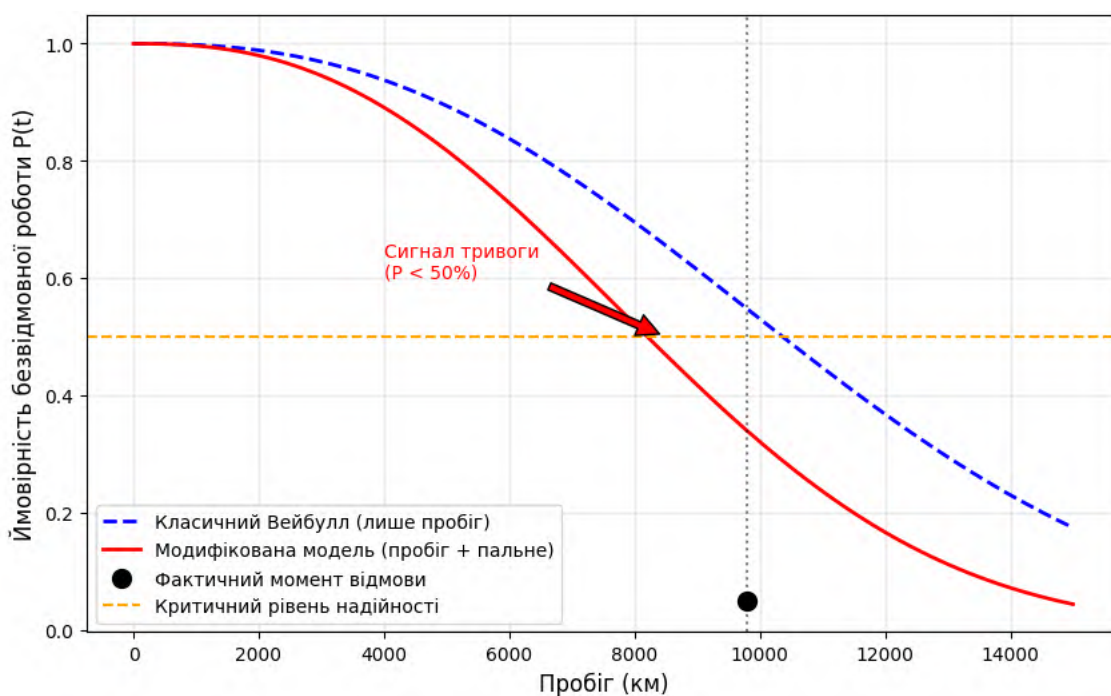


Рисунок 1 – Ефект зміщення кривої надійності для автомобілів, у яких за 500-1000 км до фактичної поломки

Це дозволило виявити точку «реальної поломки» (failure point) на 9800 км та згенерувати попереджувальний сигнал (Alarm Signal) завчасно. Такий підхід дозволяє менеджерам автопарків переходити до стратегії предиктивного ремонту, що за розрахунками знижує експлуатаційні витрати на 15-20% та мінімізує час простою техніки.

Розроблена система не вимагає встановлення дорогих IoT-датчиків, а використовує аналітику вже наявних даних про заправки, що робить рішення доступним для малого та середнього бізнесу.

Список використаних джерел

1. Тригуб, В. П. Розробка вебдодатку з обліку витрат пального транспортними засобами : дипломна робота бакалавра. Дніпро, 2023.
2. Dhillon B.S. Engineering Maintenance: A Modern Approach / B.S. Dhillon. – CRC Press, 2002. – 224 p.
3. Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance / R.K. Mobley. – Butterworth-Heinemann, 2002. – 448 p.
4. Scikit-learn developers. Novelty and Outlier Detection [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://scikit-learn.org/stable/modules/outlier_detection.html.
5. Abernethy R.B. The New Weibull Handbook / R.B. Abernethy. – 5th Edition. – Barringer & Associates, 2006.

SIMULATIONS

[ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ]



МОДЕЛЮВАННЯ СУЧАСНОГО ІНТЕР'ЄРУ В ПРОГРАМІ 3ds MAX ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ CORONA RENDER НА ПРИКЛАДІ КУХНІ ТА ВАННОЇ КІМНАТИ

Буланчук Галина Григоріївна, доцент, канд. фіз.-мат. наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук, bulanchuk_g_g@pstu.edu¹

Буланчук Софія Олегівна, студентка факультету архітектури, 07sbulan@gmail.com²

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

²Познанський політехнічний університет, м. Познань, Польща

Сучасні цифрові технології дедалі активніше впроваджуються у сферу дизайну інтер'єрів, відкриваючи нові можливості для створення фотореалістичних зображень і точного відтворення просторових рішень. Однією з найпопулярніших програм серед дизайнерів та архітекторів є 3ds Max, яка забезпечує широкий інструментарій для тривимірного моделювання, текстурювання та візуалізації об'єктів. Особливу роль у досягненні реалістичного результату відіграє рендер Corona Renderer, що дозволяє точно передати ефекти освітлення, матеріалів і тіней.

Метою роботи є розроблення моделі сучасного інтер'єру кухні та ванної кімнати в середовищі 3ds Max із використанням Corona Render для отримання реалістичної візуалізації.

Основними завданнями були:

- створення базової геометрії приміщень;
- застосування модифікаторів для деталізації форм;
- використання текстур і матеріалів для підвищення реалістичності;
- виконання фінального рендеру сцени з урахуванням природного та штучного освітлення.

Моделювання інтер'єру здійснювалося за допомогою модифікатора Editable Poly, який забезпечив точне редагування геометрії об'єктів. Для стін було використано інструмент Line у поєднанні з модифікатором Extrude та Shell, що дозволило задати товщину конструкцій. Додаткове згладжування та округлення елементів виконувалося за допомогою Chamfer.

Підлогу створено із застосуванням плагіну Floor Generator, що дозволяє швидко генерувати поверхні з фрагментів різних розмірів. Для підвищення реалістичності покриття було використано MultiTexture, який випадково розподіляє кольори та текстури матеріалів між плитками.

Візуалізація сцени виконувалася у Corona Render, який забезпечив високий рівень фотореалістичності завдяки фізично коректному освітленню, глобальному освітленню (GI) та реалістичним відблискам.

Результатом моделювання стали тривимірні моделі кухні та ванної кімнати у сучасному мінімалістичному стилі (рис.1, 2). При створенні композиційного рішення особливу увагу приділено поєднанню текстур дерева, каменю та світлих кольорів, що формують відчуття простору й гармонії. Освітлення побудовано з урахуванням природного світла з вікна та м'якого штучного освітлення, яке підкреслює матеріали поверхонь.

Створені візуалізації можуть бути використані як етап передреалізаційного погодження дизайну з замовником, а також як навчальний приклад ефективного використання цифрових технологій у процесі проектування інтер'єру.

Висновки

Використання 3ds Max у поєднанні з Corona Render дає змогу досягти високої точності та реалістичності тривимірних моделей інтер'єрів. Застосування модифікаторів Editable Poly, Shell, Chamfer, Extrude, Editable Spline та інструментів Floor Generator і MultiTexture значно підвищує ефективність роботи дизайнера. Отримані результати демонструють, що сучасні засоби візуалізації є невід'ємною частиною професійної підготовки майбутніх дизайнерів інтер'єру.



Рисунок 1 – Модель кухні



Рисунок 1 – Модель ванної кімнати

Список використаних джерел

1. Autodesk. *3ds Max Documentation* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://help.autodesk.com>
2. Corona Renderer. *Official User Manual* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.chaos.com>

3. Мельник О. С. Комп'ютерне моделювання інтер'єрів: навч. посіб. – К.: Видавництво Ліра, 2021. – 148 с.
4. Шевченко І. І. Сучасні методи 3D-візуалізації в архітектурному проєктуванні // Вісник КНУБА. – 2022. – №3. – С. 67–73.
5. Іванова Т. О. Основи дизайну інтер'єру: навч. посіб. – Харків: ХНУБА, 2020. – 192 с.
6. Floor Generator. CG Source [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cg-source.com>
7. MultiTexture. CG Source [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cg-source.com/multitexture>

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КІСТОК ТА КЕРУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ 3D-МОДЕЛІ В СЕРЕДОВИЩІ UNITY

Жижкін Ельдар Сергійович, студент групи КН-23, zhizhkin_e_s@pstu.edu¹,
П'ятикоп Олена Євгенівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, piatykop_o_ye@pstu.edu¹,

¹ ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У сучасних 3D-іграх реалістичність рухів персонажів відіграє ключову роль у формуванні занурення гравця в ігровий процес. Від того, наскільки природно модель реагує на рух камери, напрямок погляду чи дії користувача, залежить якість сприйняття гри. Одним із головних інструментів для досягнення цього є система кісток (rig) та керувальних елементів (constraints), які дозволяють створювати динамічні рухи в реальному часі без потреби у великій кількості попередньо записаних анімацій.

Під час розробки власного проєкту в середовищі Unity виникла необхідність реалізувати систему, за якої торс, голова та руки персонажа автоматично орієнтуються в напрямку центра екрана, тобто туди, куди спрямовано камеру. Це дозволяє створити ефект наведення на ціль. Приклад наведено на рисунку 1. Проблема полягала в тому, що стандартна система анімації Unity не передбачає простого способу для динамічної зміни положення кісток у процесі гри, оскільки більшість рухів задаються наперед у вигляді статичних кліпів. Тому виникла потреба у створенні власного механізму керування кістками за допомогою скриптів і компонентів анімаційного ригінгу.

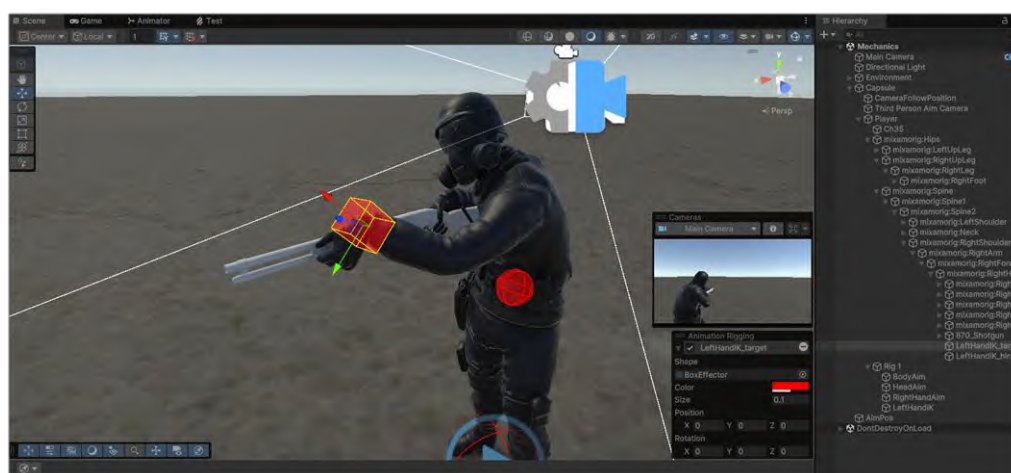


Рисунок 1 – Приклад системи рухів персонажу

Одним із можливих способів вирішення є використання системи Inverse Kinematics (IK), яка дозволяє позиціонувати кінцівки відповідно до цільової точки (див. рис. 1). Проте у межах проєкту було прийнято рішення використати інструменти пакета Unity Animation Rigging, що забезпечує більшу гнучкість у роботі з кістками. Для визначення напрямку погляду персонажа

застосовано Raycast, який виходить з центра екрана у напрямку камери. Якщо промінь потрапляє у поверхню, позиція цієї точки зберігається як ціль, на яку має спрямовуватись персонаж. У випадку, коли зіткнення немає, система використовує напрямок променя на максимальну відстань. Позиція цілі згладжується методом `Vector3.Lerp`, що забезпечує плавний і природний рух. Для керування рухом камери використовуються змінні `AxisState`, які дозволяють плавно обертати камеру вгору, вниз та навколо осі персонажа. Також реалізовано зміну кута огляду (FOV) за допомогою `Mathf.Lerp`, що створює ефект переходу між звичайним режимом та режимом прицілювання.

```
public void aimRayCast()
{
    Vector2 screenCentre = new Vector2(Screen.width / 2, Screen.height / 2);
    Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(screenCentre);

    Vector3 targetPosition;

    if (Physics.Raycast(ray, out RaycastHit hit, maxDistance, aimMask))
    {
        targetPosition = hit.point;
    }
    else
    {
        targetPosition = ray.origin + ray.direction * maxDistance;
    }
    aimPos.position = Vector3.Lerp(aimPos.position, targetPosition,
aimSmoothSpeed * Time.deltaTime);
}
```

У розробленому класі `AimStateManager` реалізовано логіку переходу між станами персонажа – звичайним положенням (`Hipfire`) та прицілюванням (`Aim`). Головним елементом є метод `aimRayCast()`, який розраховує позицію точки прицілювання на основі променя від камери. Отримана координата зберігається в об'єкті `aimPos`, що слугує ціллю для компонентів типу `MultiAimConstraint`. Ці компоненти під'єднані до кісток торсу, голови та рук, змушуючи їх обертатися у напрямку до `aimPos`. Завдяки цьому створюється ефект природного наведення персонажа, який реагує на рух камери в реальному часі.

Завдяки плавному інтерпольованому обертанню та керуванню швидкістю наведення можна досягти як швидких реакцій у бойових сценах, так і повільного, реалістичного стеження за ціллю. Система також дозволяє легко налаштовувати параметри швидкості, чутливості та дальності прицілювання під конкретні потреби гри.

Розроблена система моделювання кісток і керувальних елементів у Unity показала високу ефективність при створенні динамічних рухів персонажа. Поєднання скриптової логіки з інструментами `Animation Rigging` дозволило отримати адаптивну поведінку без потреби у великій кількості заздалегідь записаних анімацій. Такий підхід підвищує рівень реалістичності та зручності керування, а також спрощує процес розробки складних анімаційних систем у сучасних 3D-іграх. Отриманий результат демонструє, що навіть за допомогою стандартних засобів Unity можна створювати гнучкі системи ригінгу, які реагують на дії користувача в реальному часі та значно покращують якість ігрового досвіду.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПРОМІСУ МІЖ ШВИДКІСТЮ ТА ФОТОРЕАЛІЗМОМ ПРИ РЕНДЕРИНГУ ОСВІТЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ EEVEE, CYCLES ТА LUXCORERENDER

Кривенко Ольга Вікторівна, доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедри інформатики, krivenko_o_v@pstu.edu¹

Новіков Данило Євгенович, магістр групи BT-24-M, danielnovikovua@gmail.com¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

У сучасній комп'ютерній графіці співіснують дві основні парадигми рендерингу: режим реального часу (online) та офлайн-рендеринг. Режим реального часу (наприклад, рушій Eevee) дозволяє отримувати негайний зворотний зв'язок при роботі зі сценою, тоді як офлайн-рушії (Cycles, LuxCoreRender) використовують складні алгоритми для досягнення максимальної фізичної коректності та фотореалізму зображення. Вибір між цими підходами є критичним, особливо при роботі зі сценами, що містять складне непряме освітлення, каустики, відбиття та заломлення [1].

Актуальність роботи зумовлена зростаючим попитом на фотореалістичні зображення та паралельним зближенням цих технологічних напрямів: ігрові рушії впроваджують трасування променів у реальному часі (RT), а традиційні офлайн-рушії оптимізуються для GPU. Порівняльний аналіз рушіїв Eevee, Cycles та LuxCoreRender на ідентичних сценах дає змогу виявити, наскільки далеко просунувся рендеринг реального часу у досягненні якості офлайн-методів [2].

В роботі був проведений комплексний аналіз трьох рушіїв рендерингу в Blender (Eevee, Cycles, LuxCoreRender) з акцентом на порівнянні їхніх алгоритмів, продуктивності та якості освітлення, а також розробка відтворюваної методики оцінювання результатів [3].

Для досягнення об'єктивності порівняння розроблено відтворювану методику кількісного аналізу, яка базується на стандартизації умов рендерингу та застосуванні чисельних метрик.

Порівняльний аналіз архітектури рушіїв:

- Eevee (Real-Time Engine): Використовує растеризацію (OpenGL) та методи екранного простору (SSGI, SSR) для імітації непрямого освітлення. Eevee є biased-підходом, його перевага – екстремальна швидкість та інтерактивність. Недоліки включають залежність ефектів від точки огляду та відсутність «справжнього» глобального освітлення та каустик. Для досягнення максимальної якості в Eevee було застосовано індивідуальні налаштування, включаючи Ambient Occlusion, Bloom, SSR/Refractions та високі налаштування тіньових карт.

- Cycles (Offline Path Tracer): Застосовує трасування шляху (Path Tracing) для фізично коректного прорахунку світла. Це переважно unbiased-алгоритм, що використовує методи Монте-Карло, такі як Multiple Importance Sampling (MIS) та Russian Roulette, для оцінки інтеграла освітленості. Cycles забезпечує високу якість зображення за рахунок коректного трасування променів.

- LuxCoreRender (Advanced Path Tracer): Є офлайн-трасувальником, який надає просунуті інтегратори (Path, BiDir, MLT). LuxCoreRender відомий максимальною фізичною точністю, зокрема у відтворенні складних світлових явищ, таких як каустика, і часто використовується як еталон для порівнянь.

Організація експерименту та еталонне зображення:

Тестування проводилося на єдиній апаратній платформі: GPU NVIDIA GeForce RTX 3080 та CPU AMD Ryzen 5 5600.

Для порівняння використовувався спільний набір тестових сцен з ідентичними налаштуваннями світла та матеріалів.

Еталонне зображення (Ground Truth) генерувалося за допомогою LuxCoreRender з дуже великою кількістю семплів (5000) для мінімізації шуму та отримання максимально повного розв'язку світлових шляхів. Час рендерингу еталону склав 02:13:28.11.

Метрики оцінки якості:

– PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio): Піксельна метрика, що вимірює відношення сигналу до шуму в децибелах (дБ). Вищий PSNR означає меншу похибку піксельних значень порівняно з еталоном.

– SSIM (Structural Similarity Index): Оцінює структурну подібність зображень, враховуючи яскравість, контраст і структурну цілісність. Значення від 0 до 1, де 1 – повний збіг; показник >0.95 свідчить про добру збереженість структурної правдоподібності освітлення.

Експериментальне порівняння рушіїв на тестових сценах з фіксованою кількістю семплів (3000) продемонструвало чітку залежність між архітектурою рушія, часом обробки та досягнутою якістю:

Таблиця 1 – Залежність між архітектурою рушія

Рушій	Час (3000 семплів)	PSNR	SSIM
Eevee	00:44.00	28,73 dB	0,8552
Cycles	01:08.26	38,27 dB	0,9376
LuxCoreRender	1:39:08.89	50,18 dB	0,9968

Співвідношення швидкості та якості:

– Eevee є найшвидшим, вимірюючись секундами, але показує найнижчі метрики якості (PSNR 28,73 dB) через спрощені алгоритми та артефакти, пов'язані з екранно-просторовими ефектами. Збільшення семплів в Eevee до 3000 покращило якість незначно, не пропорційно витраченому часу.

– Cycles продемонстрував високу продуктивність серед трасувальників (1 хвилина 8 секунд), досягнувши при цьому високих показників якості, які добре корелюють з еталоном (SSIM 0,9376). Також було відмічено ефективну роботу денойзера Cycles, який при низькій кількості семплів (128) забезпечив зображення майже без видимого шуму, тоді як LuxCoreRender при 128 семплах демонстрував шумність у скляних поверхнях і тінях.

– LuxCoreRender (при 3000 семплах) показав найвищу фізичну точність (PSNR 50,18 dB, SSIM 0,9968), максимально наблизившись до еталону. Це підтверджує його цінність для сцен, які вимагають максимальної достовірності, таких як коректне відтворення кольорових відблисків та color bleeding.

Вплив семплінгу:

– встановлено, що 1024 семпли є оптимальною «золотою серединою» для офлайн-рендерингу. При цьому значенні якість (наприклад, Cycles PSNR 35,87 dB, LuxCoreRender PSNR 49,05 dB) вже близька до еталону, але не вимагає екстремально великої кількості часу.

– аналіз LuxCoreRender при низьких семплах (128) показав, що зниження семплів переважно збільшує статистичний шум (впливаючи на PSNR), але загальне освітлення та структурна реалістичність сцени зберігаються (SSIM залишається стабільним, 0,9284).

Таким чином, в результаті дослідження ефективності компромісу між швидкістю та фотореалізмом при рендерингу освітлення за допомогою Eevee, Cycles та LuxCoreRender отримано:

– Eevee оптимальний для інтерактивних демонстрацій та превізуалізації, де швидкість є абсолютним пріоритетом;

– Cycles є універсальним інструментом для більшості задач фотореалізму, поєднуючи високу якість трасування шляху з практичною швидкістю;

– LuxCoreRender є найкращим вибором для максимальної фізичної достовірності (ювелірні рендери, наукова візуалізація), демонструючи найвищі кількісні метрики PSNR та SSIM.

Розроблена методика оцінки якості рендерингу, яка включає стандартизований набір сцен (для GI, каустик, об'ємів) та використання об'єктивних метрик (PSNR, SSIM) з високоякісним еталоном (≥ 5000 семплів), може бути застосована для стандартизації тестів у наукових і прикладних проєктах.

Виявлена оптимальна кількість семплів (1024) для офлайн-рушіїв слугує практичним керівництвом для 3D-художників, які прагнуть знайти баланс між часом рендерингу та якістю зображення.

Практичне значення роботи полягає у можливості обґрунтованого вибору рушія залежно від вимог до якості та швидкодії конкретної задачі. Якщо уявити рендеринг як дорогу до ідеального зображення, то:

- Eevee – міський скутер: він миттєвий, ідеальний для швидких маневрів, але обмежений у вазі (точність) та артефактах на складних ділянках;
- Cycles – висококласний автомобіль: надійний, швидкий на довгі дистанції, що забезпечує високу якість для більшості подорожей;
- LuxCoreRender – науковий телескоп: він працює довго і вимагає налаштувань, але забезпечує абсолютну, фізично достовірну істину, необхідну для критичних або наукових застосувань.

Список використаних джерел

1. Найкращі рушії рендерингу для Blender [Електронний ресурс] // Vagon - Режим доступу: <https://vagon.io/blog/best-blender-render-engines> (дата звернення 30.09.2025)
2. Цикли проти LuxCoreRender: Комплексне порівняння [Електронний ресурс] // iRender - Режим доступу: <https://irendering.net/cycles-vs-luxcorerender-a-comprehensive-comparison/> (дата звернення 30.09.2025)
3. Порівняння рушіїв рендерингу [Електронний ресурс] // LuxCoreRender Forums - Режим доступу: <https://forums.luxcorerender.org/viewtopic.php?t=2367> (дата звернення 30.09.2025)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПІСЛЯДРУКАРСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

Кудряшова Альона Вадимівна, доцент, докт. техн. наук,
доцент кафедри систем віртуальної реальності, alona.v.kudriashova@lpnu.ua¹
Доморад Олег Володимирович, аспірант кафедри комп'ютерних технологій
у видавничо-поліграфічних процесах, oleh.v.domorad@lpnu.ua¹

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

Післядрукарське опрацювання є одним із найваріативніших етапів виготовлення книги. На цьому етапі формуються кінцеві споживчі характеристики видання: міцність, довговічність, ергономічність, зовнішній вигляд, стабільність геометричних параметрів тощо. Водночас післядрукарські операції є складними з технологічної точки зору. За умов варіативності обладнання, технологічних налаштувань і постійної зміни номенклатури замовлень традиційні методи планування часто виявляються недостатньо ефективними [1].

Імітаційне моделювання дає змогу відтворити логіку технологічного процесу без необхідності втручання у реальну виробничу систему. Забезпечується можливість експериментувати з умовами, параметрами та конфігураціями обладнання, не зупиняючи виробничий цикл та не створюючи ризиків для матеріалів чи устаткування [2]. Оптимізація післядрукарських процесів полягає у скороченні тривалості виробничих циклів, мінімізації втрат, підвищенні рівня керованості процесом, зменшенні коефіцієнта відмов обладнання та покращенні результатів. Симуляції можуть забезпечити точне відображення залежності вихідних характеристик продукції від технологічних параметрів. Наприклад, для процесу фальцювання важливо моделювати товщину паперу, щільність волокон, кут згинання та швидкість подачі. Для ламінування критичними є температура валів, тиск, тип плівки та рівномірність нанесення адгезиву. Створення моделі дає змогу оцінити вплив кожного із цих параметрів на кінцеву якість продукції [1–3].

Найбільш відповідними для моделювання післядрукарських процесів є дискретно-подійні моделі [4], моделі аналізу чутливості [5], моделі Монте-Карло [6]. Дискретно-подійне моделювання дає можливість відтворити структуру технологічного потоку, де кожна операція представлена як окрема подія зі своєю тривалістю, ймовірністю збою, можливими чергами та переходами [4]. Моделі чутливості дозволяють проаналізувати які параметри є найбільш критичними до відхилень і в яких межах їх варто утримувати для досягнення стабільної якості [5]. Моделі Монте-Карло застосовуються для експериментів із варіативністю параметрів. Це особливо корисно в умовах нестабільності сировини або змінних факторів навколишнього середовища [6].

Імітаційні моделі можуть включати в себе не лише технічні особливості роботи обладнання, але й логістичні та організаційні складові. Наприклад, моделювання розміщення обладнання в цеху дає змогу оцінити переміщення матеріалу, частоту перехресних потоків, ризики затримок та перенавантаження окремих робочих зон. Візуалізація таких процесів допомагає виявити неочевидні закономірності.

Для ілюстрації загальної логіки розроблено схему структури симуляційного середовища (рис. 1). На практиці структура моделі може бути значно складнішою, однак навіть таке спрощене представлення демонструє потенціал імітаційних методів для підтримки технологічно обґрунтованих рішень у післядрукарському виробництві.

Однією з ключових переваг застосування симуляцій є можливість роботи зі складними виробничими сценаріями, які важко передбачити іншими методами.

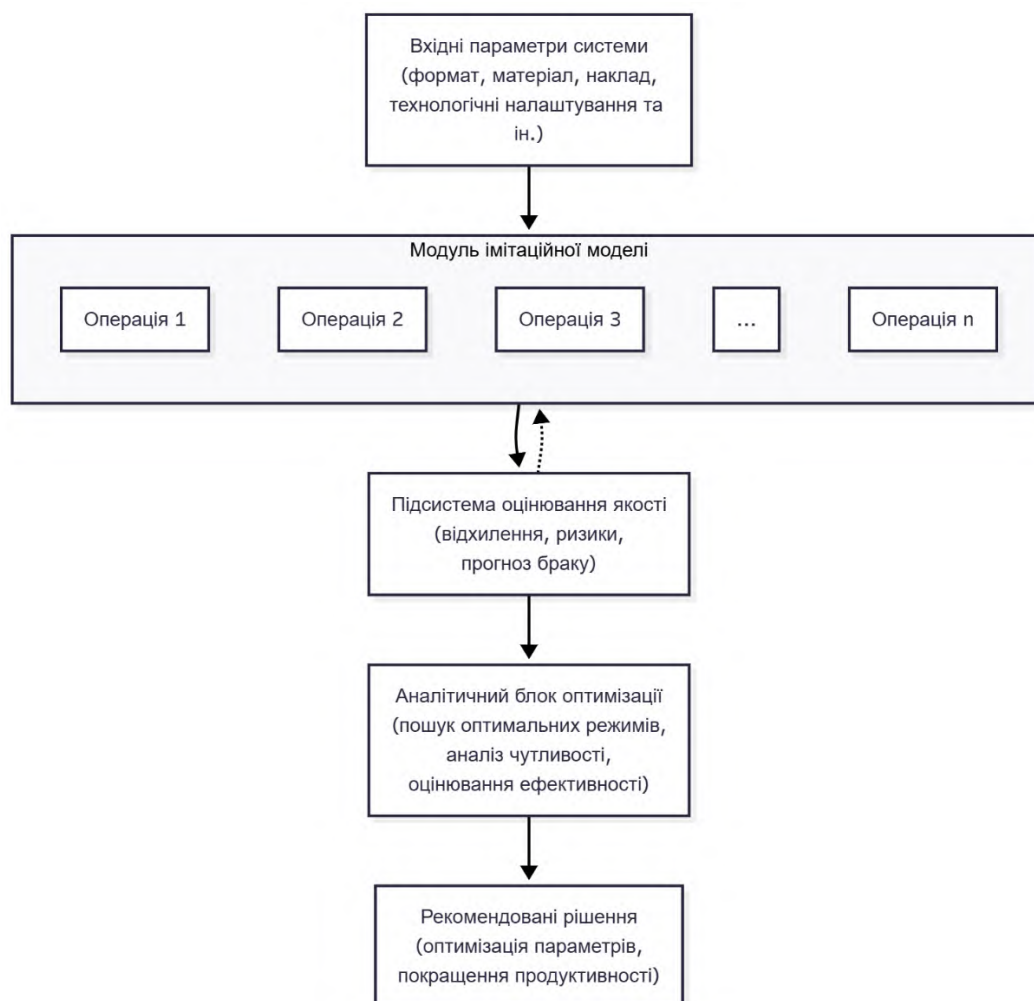


Рисунок 1 – Структура симуляційного середовища

Висновки. Застосування методів імітаційного моделювання у післядрукарському опрацюванні книжкових видань надає можливість здійснення глибокого аналізу технологічних

операцій та підвищення ефективності поліграфічного виробництва без втручання у реальний цикл роботи. Симуляційні моделі дозволяють детально відтворити структуру процесів, оцінити вплив технологічних параметрів на якість продукції та виявити критичні зони, що формують потенційні ризики браку чи простоїв.

Список використаних джерел

1. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Моделі інформаційної технології проектування післядрукарських процесів: Монографія. Львів : УАД, 2022. 204 с.
2. Alrabghi A., Tameem A. Grounded insights into process simulation: evidence from saudi manufacturing experts. *Processes*, 2025. № 13, 2816.
3. Маїк В. З. Технологія брошурувально-палітурних процесів : підр. / За заг. ред. д-ра. техн. наук, проф. Лазаренка Е. Т. Львів : УАД, 2011. 488 с.
4. Sung J.-H., Ju S.-H., Cho S.-W., Joo H.-J., Seo K.-M., Kang B.-G. Modeling and exploratory analysis of discrete event simulations for optimizing overhead hoist transport systems and logistics in semiconductor manufacturing. *Mathematics*, 2025. № 13, 1167.
5. Kostrzewski M. Sensitivity analysis of selected parameters in the order picking process simulation model, with randomly generated orders. *Entropy*, 2020. № 22, 423.
6. Han Z., Liu H., Zhao D., Chen Y., Xing Y., Zhang Z. Monte Carlo sensitivity analysis for a carbon capture, utilization, and storage whole-process system. *Processes*, 2025. № 13, 1356.

МЕТОД ПРОГРЕСИВНОГО РОЗКРИТТЯ ІНТЕРФЕЙСУ РОБОЧОГО МІСЦЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Попов Ігор Валерійович, аспірант, науковий співробітник, popigor7@gmail.com¹

Джебраїлов Роман Юрійович, аспірант,

молодший науковий співробітник, rombik1197@gmail.com¹

Губський Олексій Миколайович, аспірант, gubish@gmail.com¹

Коршунова Оксана Михайлівна, аспірантка, oksanakorshunova225@gmail.com¹

¹Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, Київ

Мета: запропонувати та апробувати метод оцінки інтерфейсів робочого місця оператора станцій керування динамічними об'єктами, що враховує психофізіологічні обмеження користувачів.

Ключові слова: інтерфейс користувача, оператор, динамічні об'єкти.

Вступ. Розширення сфер застосування динамічних об'єктів вимагають підготовки все більшої кількості операторів різної направленості. Проте не всі користувачі здатні витримувати значне когнітивне та психофізіологічне навантаження, яке виникає під час управління складними системами. Головною ланкою взаємодії між оператором і апаратом є робоче місце станцій керування динамічними об'єктами (РМСК ДО), яка визначає якість сприйняття інформації, швидкість прийняття рішень і точність керуючих дій. Актуально запропонувати метод підвищення ефективності роботи операторів, який дозволять компенсувати індивідуальні відмінності операторів і покращити їх об'єктивні показники.

Наземні станції керування забезпечують обмін інформацією та реалізацію керуючих впливів, це викликає додаткові когнітивні й психофізіологічні чинники, а саме інформаційне перенавантаження. Отже, підхід до підвищення ефективності операторів має базуватися саме на удосконаленні інтерфейсів РМСК [1]. Описано тренажерний комплекс для навчання операторів безпілотних систем [2]. Його використання в навчальному процесі дозволило на постійній основі збирати емпіричні дані щодо взаємодії слухачів школи підготовки зовнішніх пілотів з інтерфейсами.

Програмне забезпечення програмно-апаратного комплексу не повною мірою враховує психофізіологічні обмеження користувачів, рівень їхнього досвіду та навчальні потреби. Тому було запропоновано метод покрокового розкриття інтерфейсів, що поєднує принципи

багаторівневої прозорості та прогресивного спрощення. Їх інтеграція дозволяє адаптувати програмне забезпечення як для новачків, так і для досвідчених операторів у реальних і навчальних сценаріях.

Результати дослідження

Метод покрокового розкриття інтерфейсів ґрунтується на результатах емпіричних досліджень різних груп користувачів та напрямлений на подолання проблеми впливу надлишкових технічних деталей. Інтерфейс відкриває користувачу тільки ті параметри, які є релевантними на даному етапі завдання. Він спирається на результати експериментів і опитувань, що дозволяє інтегрувати реальний досвід різних груп операторів. Передбачено урахування диференціації користувачів для адаптації під їхній рівень підготовки й очікування. Метод поєднує принцип вибіркової прозорості, коли оператор отримує різні рівні пояснень і керуючих підказок залежно від ролі та досвіду. Та метод прогресивного спрощення, коли у процесі навчання й експлуатації система поступово прибирає допоміжні елементи, дозволяючи оператору працювати у більш “чистому” середовищі.

Було проведено експеримент, як зміни в дизайні інтерфейсу (відповідно до розробленого методу та стандарту ISO 9241-210) впливають на час виконання типових завдань, кількість помилок користувачів та когнітивне навантаження [3].

Було сформульовано гіпотезу, що реалізація інтерфейсу за методом прогресивного розкриття інформації керуючих інтерфейсів зовнішніх пілотів, сприяє зниженню когнітивного навантаження оператора та зменшенню кількості помилок у роботі щонайменше на 20 %.

Для вибірки було обрано дві групи слухачів, що проходять навчання на оригінальному тренувальному комплексі та мають обмежений попередній досвід роботи з РМСК ДО [4].

Чинником впливу в досліджуваному випадку слугує експериментальна версія інтерфейсу, яка отримала такі відмінності: створення трьох режимів роботи; застосовано покрокове розкриття елементів інтерфейсу при плануванні місії; додано для критичних випадків сценарне розкриття інтерфейсу залежне від режиму польоту.

Завданням учасників було виконання чотирьох типових тренувальних завдань (рис.1) – трьох завдань базового рівня та одне просунутого.

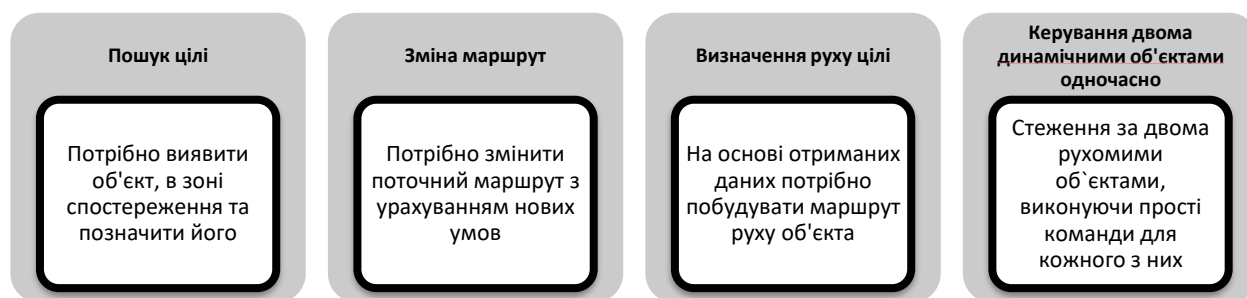


Рисунок 1 – Типові тренувальні завдання для групи операторів-початківців

Час виконання, кількість помилок та суб'єктивна оцінка когнітивного навантаження фіксувалися для кожного учасника та для кожного окремого завдання. Для збору та аналізу отриманих результатів були використано логи програмного застосунку, секундомір. А суб'єктивне навантаження на пілота оцінювалося за шкалою NASA Task Load Index (NASA-TLX) із застосуванням анкетування [5].

У результаті проведеного дослідження були отримані результати для двох груп, які наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експерименту

Метрика	Контрольна група	Експериментальна група	Зміна (%)
Середня кількість помилок на одну спробу проходження сценарію	1,32	0,97	26,2%
NASA-TLX (загальний бал)	95,2	68,3	28,3%

Середній час сценарію (с)	165	127	23,1%
---------------------------	-----	-----	-------

На рис.2 проілюстровано те як змістилися фактори впливу при переході від базового інтерфейсу до експериментального. Оцінки часової обмеженості та продуктивності лишилися майже без змін, при тому що розумове і фізичне навантаження знизилися помітно, що призвело до очікуваного зростання розгубленості та дискомфорту та необхідного рівня зусиль, як реакція на оновлений, незвичний інтерфейс.

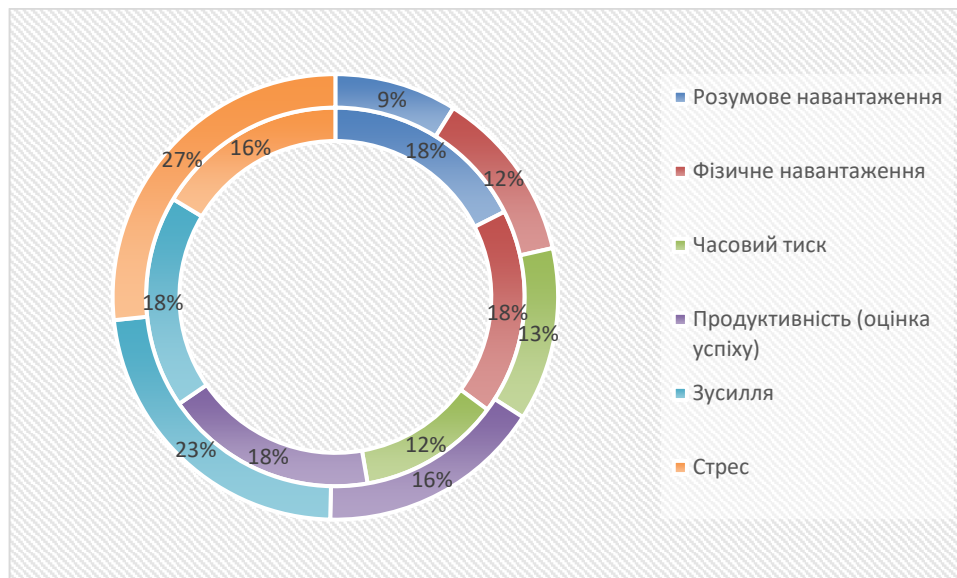


Рисунок 2 – Зміна основних факторів впливу за результатами парного порівняння для двох груп

Обрахування відносної оцінки факторів впливу для критеріїв оцінки для двох груп проілюстровані на рисунку 3 дозволяють зробити деякі попередні висновки та звернути увагу на обмеження, викликані обмеженістю вибірки. Так зниження навантажень більш помітне, до тенденцій до зниження також додався часовий тиск та продуктивність, при переважно незмінних значеннях зусиль та стресу.

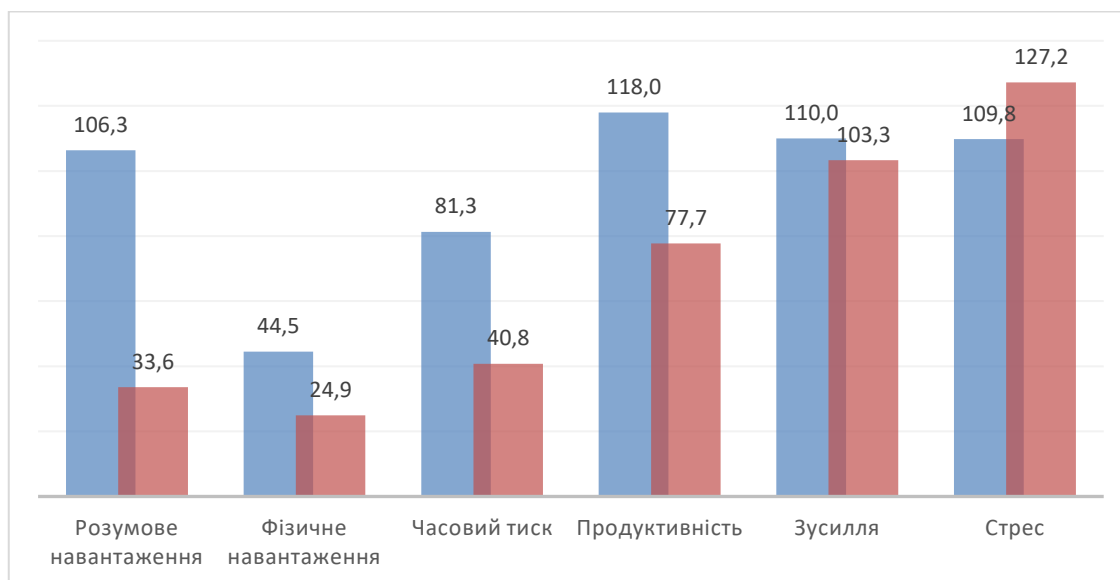


Рисунок 3 – Зміна середніх значень індексів для критеріїв для двох груп

Середнє значення індексів для більшості критеріїв знизилася. Обрахунок сумарних індексів для двох груп демонструє зниження на 28%, 68,3 бали проти 95,2 у першій групі. Це означає, що загальне суб'єктивне навантаження під час виконання завдань теж знизилася з високого до помірного.

Вимірювання середнього часу виконання сценаріїв, що вимірювався окремо для кожного учасника і кожного сценарію показало помітне скорочення (рис.4), у середньому на 23,1%.

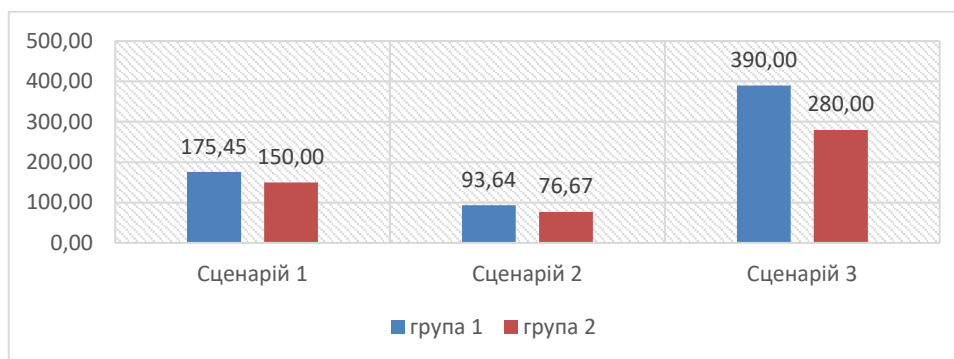


Рисунок 4 – Різниця середнього часу виконання сценарію для двох груп, с

Обмеження. Це попередні дані з обмеженою вибіркою, яка не дозволяє забезпечити статистичну надійність отриманих результатів. Тести для визначення статистичної значущості для малих вибірок показали недостатню достовірність. Результати масштабування експерименту та збільшення кількості груп, що проходять тестування готуються до публікації у вигляді наукової статті.

Висновки. Результати експерименту, попередньо, підтвердили гіпотезу, що застосування методу призводить до: зменшення кількості помилок, часу виконання сценаріїв та зниження когнітивного навантаження більше ніж на 20%.

Список використаних джерел

1. Eppler, M.J., Mengis, J. (2008). The Concept of Information Overload - A Review of Literature from Organization Science, Accounting, Marketing, MIS, and Related Disciplines (2004). In: Meckel, M., Schmid, B.F. (eds) Kommunikationsmanagement im Wandel. Gabler. Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9772-2_15 (дата звернення: 28.10.2025);
2. Komar M.M., Chepizhenko V.I., Bogachuk Yu.P., Soloviev M.V., Development of the multi purpose simulation complex for training of unmanned systems operators. Kibernetika i vyčislitel'naâ tehnika. 2024. Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/kvt215.01.035> (дата звернення: 30.10.2025);
3. Ergonomics of human-system interaction Part 210: Human-centred design for interactive systems, Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/77520.html> (дата звернення: 30.10.2025);
4. Volkov O.E., Komar M.M, Synytsya K.M., Volosheniuk D.M., The UAV simulation compfor operator training. IADIS International Conference e-Learning 2019 (part of MCCSIS 2019) 3, 13-316. Режим доступу: https://doi.org/10.33965/el2019_201909R044 (дата звернення: 30.10.2025);
5. The Official NASA Task Load Index. Режим доступу: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/> (дата звернення: 29.10.2025).

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПЛАНЕТАРНИХ СВІТІВ

Проніна Ольга Ігорівна, доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, pronina_o_i@pstu.edu¹,

Ніколаєв Максим Максимович, студент групи КН-24, nikolaiev_m_m.@students.pstu.edu¹,

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Важливою частиною створення історії та ворлдбілдингу є моделювання світу, у якому знаходяться основні події та актори. Процедурна генерація активно використовується у сучасних комп'ютерних науках, відеоіграх, симуляціях тощо. Тож створення для користувача

інструменту, що дозволяє з мінімальними знаннями створити псевдовипадкову планету, яку потім можна використовувати для створення на її бази історії, художньої літератури, комп'ютерної чи настільної гри тощо є актуальним завданням. Програма написана мовою Python з використанням загальнодоступних бібліотек (trimesh [1], matplotlib, sklearn, numpy [2], tqdm) та кількох власних скриптів (генерації шуму Перліну та створення фарбувальника біомів).

Для генерації псевдопланети виділені основні етапи:

- 1) генерація висотного рельєфу за допомогою функції шуму, симуляції розподілу та взаємного руху літосферних плит (що утворює реалістичні хребти та рифти);
- 2) генерація температури та вологості за допомогою функції шуму, висоти, розміщення полюсів та середньої температури. Вологість також залежить від температури;
- 3) генерація культур та держав за допомогою симуляції їх поширення, розподілу на субкультури та боротьби. Для ймовірності поширення та сили оборону також використовується придатність територій та культурна близькість суб'єктів;
- 4) опис держав за допомогою випадкових векторів та методу WPCA (зваженого аналізу головних компонент), який надає перевагу векторам більших держав [3];

Перші три етапи використовують згладжування значень для більш реалістичного вигляду.

Отриману планету можна зберегти як файл, а також візуалізувати (як зображення з картою проекції Меркатора, як сцену у коді чи як HTML-документ) [4].

Для візуалізації планети її потрібно пофарбувати. Програма підтримує наступні режими фарбування:

- 1) градієнт за висотою (.paint("height")): земля планети пофарбована від зеленого (найнижча) до червоного (найвища), вода планети пофарбована від світлого (наймілкіша) до темного (найглибша) синього;
- 2) градієнт за температурою (.paint("temperature")): планета пофарбована від червоного (найгарячіша) до синього (найхолодніша);
- 3) градієнт за вологістю (.paint("humidity")): планета пофарбована від синього (найвологіша) до жовтого (найсухіша);
- 4) культури (.paint("culture")) та держави (.paint("state")): вони послідовно фарбуються від червоної (найперша) до зеленої (остання). Територія без держав позначається синім;
- 5) біоми (.paint("biome")): при ініціалізації планети потрібно вказати biome, який фарбує планету відповідно до вказаних у ньому характеристик біомів. Можна як використати один з двох вбудованих прикладів (example_simple та example_colorful), так і вказати свої біоми та характеристики. Біоми розділені на біоми суші та води.

Серед складних етапів розробки можна виділити:

- 1) для розділення сфери на рівновеликі тайли та створення безперервної мапи на їх основі було згенеровано гексагональні сфери за допомогою програми Blender, розроблено скрипт розрахування сусідства тайлів;
- 2) через велику роздільну здатність (кількість тайлів) у загальнодоступних бібліотек шуму Перліну виникали проблеми зі швидкістю та оперативною пам'яттю, тому було розроблено власну векторизовану функцію шуму.

На рисунку 1 наведено різні розроблені планети з різними налаштуваннями (знизу рисунку візуалізація біомів, згори рисунку – візуалізація держав). Налаштування планет:

- 1) Кількість плит: 10, частка землі: 0.3, середня температура: 0.4, кількість держав: 10.
- 2) Кількість плит: 15, частка землі: 0.6, середня температура: 0.8, кількість держав: 30.
- 3) Кількість плит: 15, частка землі: 0.2, середня температура: -0.4, кількість держав: 50.
- 4) Кількість плит: 30, частка землі: 0.4, середня температура: 0.2, кількість держав: 10.
- 5) Кількість плит: 50, частка землі: 0.7, середня температура: 0.5, кількість держав: 100.

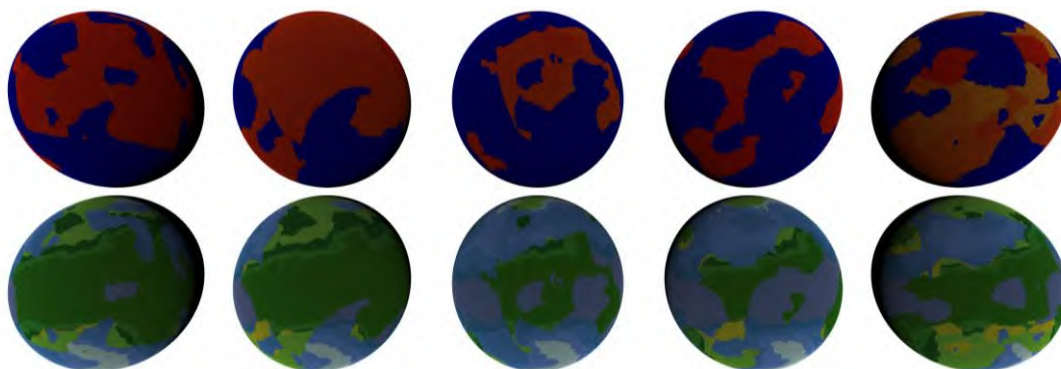


Рисунок 1 – Планети з різними налаштуваннями

На рисунку 2 наведено приклад збереження мапи планети. Кольорова сегментація відображає різні типи висот та кліматичних зон, що дає змогу візуалізувати ландшафт і його особливості у цілком автономному режимі. Такий підхід дозволяє створювати реалістичні географічні карти для симуляцій, навчальних задач або ігор, забезпечуючи масштабованість, повторюваність та високий ступінь варіативності.



Рисунок 2 – Приклад збереження мапи планети

Результатом роботи є програма, що дозволяє отримати цілісний процедурно-згенерований світ із взаємопов'язаними природними та соціальними структурами. Проєкт може бути використаний як інструмент для письменників, дизайнерів світів і геймдев-ентузіастів, а також як освітня демонстрація взаємозв'язку між природними процесами та людськими суспільствами.

Список використаних джерел

1. Бібліотека trimesh. – Режим доступу: <https://trimesh.org/>
2. Бібліотека numpy. – Режим доступу: <https://numpy.org/>
3. Dong, Na & Li, Yingjie & Gao, Zhongke & Ip, W.H. & Yung, Kai. (2019). A WPCA-Based Method for Detecting Fatigue Driving From EEG-Based Internet of Vehicles System. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2019.2937914.
4. Yann Cortial, Adrien Peytavie, Eric Galin, Eric Guérin. Procedural Tectonic Planets. Computer Graphics Forum, 2019, 38 (2), ff10.1111/cgf.13614ff. fhal-02136820f