

2026 DPMMT

MAY 29, 2026 | KYIV, UKRAINE

2026

CONFERENCE PROCEEDINGS

INTERNATIONAL CONFERENCE
«DATA PROCESSING: MODELS, METHODS,
AND TECHNOLOGIES» (DPMMT-2026)



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ (УКРАЇНА)
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА (УКРАЇНА)
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ УКРАЇНИ
ВИЩА ШКОЛА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
У ВРОЦЛАВІ (ПОЛЬЩА)
АКАДЕМІЯ ІМЕНІ ЯКУБА З ПАРАДИЖА
У ГУЖОВІ-ВЕЛИКОПОЛЬСЬКОМУ (ПОЛЬЩА)
АКАДЕМІЯ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
В КУТНО (ПОЛЬЩА)
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ
І ТЕХНОЛОГІЙ (УКРАЇНА)
ЦЕНТРАЛЬНО-АЗІЙСЬКИЙ ІННОВАЦІЙНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ (КАЗАХСТАН)
УНІВЕРСИТЕТ ДРУЖБИ НАРОДІВ ІМЕНІ
КУАТБЕКОВА (КАЗАХСТАН)
ГРІД ДІНАМІКС УКРАЇНА
КВОЛІУМ-СИСТЕМЗ

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
STATE UNIVERSITY OF TRADE AND ECONOMICS
(UKRAINE)
TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY
OF KYIV (UKRAINE)
STATE SERVICE OF SPECIAL COMMUNICATIONS
AND INFORMATION PROTECTION OF UKRAINE
UNIVERSITY COLLEGE OF PROFESSIONAL
EDUCATION IN WROCLAW (POLAND)
JAKUB FROM PARADYŻ ACADEMY IN GORZÓW
WIELKOPOLSKI (POLAND)
ACADEMY OF APPLIED SCIENCES OF THE
NATIONAL ECONOMICS IN KUTNO (POLAND)
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS
AND TECHNOLOGY (UKRAINE)
CENTRAL ASIAN INNOVATION UNIVERSITY
(KAZAKHSTAN)
KUATBEKOV UNIVERSITY OF PEOPLES'
FRIENDSHIP (KAZAKHSTAN)
GRID DYNAMICS
QUALIUM SYSTEMS

ОБРОБКА ДАНИХ: МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ (ОДММТ-2026)

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Київ, 29 травня 2026 року)

DATA PROCESSING: MODELS, METHODS, AND TECHNOLOGIES (DPMMT-2026)

CONFERENCE PROCEEDINGS INTERNATIONAL CONFERENCE

(Kyiv, May 29, 2026)

Київ 2026

УДК 004.2; 004.4; 004.8; 004.9

О-23

Обробка даних: моделі, методи та технології (ОДММТ-О-23 2026) [Електронний ресурс] : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 29 трав. 2026 р.) / відп. ред. О. І. Пурський. – Київ : Держ. торг.-екон. ун-т, 2026. – 253 с. – Укр. та англ. мовами.

Data processing: models, methods, and technologies (DPMMT-2026) [Electronic resource]: Proceedings of the international scientific and practical conference (Kyiv, Ukraine, May 29, 2026) / Edited by Oleg Pursky. – Kyiv: State university of trade and economics, 2026. - 253 p. – In Ukrainian and English.

ISBN 978-966-629-378-0

DOI: 10.31617/k.knute.2026-05-29

У матеріалах конференції подано результати теоретичних і прикладних наукових досліджень науково-педагогічних працівників, науковців, докторантів, аспірантів, здобувачів вищої освіти, а також фахівців-практиків, з актуальних питань обчислювальних технологій оброблення даних, інтелектуальних систем та штучного інтелекту, інтелектуального аналізу даних і технологій data science, моделей, методів та інтелектуальних технологій для ефективного оброблення, аналізу та візуалізації даних, застосування сучасних інформаційних технологій у різних сферах діяльності.

Матеріали подано в авторській редакції та мовою оригіналу. Автори несуть відповідальність за достовірність і зміст опублікованих матеріалів.

The conference materials present the results of theoretical and applied scientific research by scientific and pedagogical workers, scientists, doctoral students, postgraduate students, higher education students, as well as IT specialists and practitioners, on current issues of computing data processing technologies, intelligent systems and artificial intelligence, intelligent data analysis and data science technologies, models, methods and intelligent technologies for effective processing, analysis and visualization of data, the application of modern information technologies in various fields of activity.

The materials are presented in the author's edition and in the original language. The authors bear responsibility for the accuracy, integrity, and originality of their published materials.

УДК 004.2; 004.4; 004.8; 004.9

ISBN 978-966-629-378-0

© Державний торговельно-економічний
університет, 2026



Ця робота ліцензується відповідно до Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ЗМІСТ

Марія БЕССАРАБ, Юрій ЮРЧЕНКО

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ RAID-МАСИВІВ У СУЧАСНИХ
РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ..... 10

Марк СВЕРГУН, Олег ПУРСЬКИЙ

АРХІТЕКТУРА КОНВЕЄРА ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ
ДЛЯ АДАПТИВНОГО ЗВАЖУВАННЯ ПРІОРИТЕТІВ
У НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 13

Олег ПУРСЬКИЙ, Тетяна ФІЛІМОНОВА, Анна СЕЛІВАНОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕКСТОВИХ І ВІЗУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОНАЛЬНОСТІ
МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ..... 18

Максим СЕЛЕЗНЬОВ, Людмила ШОКОТЬКО

ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РІЗАННЯ ПЛОСКОГО
МЕТАЛОПРОКАТУ ШЕВРОННИМ НОЖЕМ 23

Андрій БАЙ

МЕТОДИ Й АЛГОРИТМИ РЕТОПОЛОГІЇ 3D-ОБ'ЄКТІВ
НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ 27

Андрій ГОЛИНСЬКИЙ

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ
ОСВІТНІХ ТРАЄКТОРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ
Й ЕТИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ..... 31

Павло ДЕМІДОВ, Поліна СУШКО

СЕГМЕНТАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
ДВОЕТАПНОЇ МОДЕЛІ MASK R-CNN 34

Олексій САВОН

КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТНІХ
ПЛАТФОРМ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ 38

Олександр ВИШНІВСЬКИЙ

БАЗА ДАНИХ АНТЕН У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ
АВІАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ..... 41

Kostiantyn SAPUN, Ruslana SELEZNOVA THE CONCEPT OF THE METAVERSE FOR COMPUTER SCIENCE SPECIALISTS: TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS, APPLICATIONS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS.....	45
Ulugbek TURAPOV, Musambek AKYLBAEV, Sholpan ZHANTAIEVA, Gul'nar MADALIEVA CREATION OF A ROBOTIC EYE ANALYZER AS A RESULT OF THE INTEGRATION OF CORRELATION COEFFICIENT METHODS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FACE RECOGNITION	50
Тетяна ТОМАШЕВСЬКА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ ТА КВАНТОВИХ ЯДЕРНИХ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ШАХРАЙСТВА	58
Андрій ТУЖИКОВ, Володимир СОЛОВЙОВ, Арнольд КІВ МАШИННО-НАВЧЕНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ СКРИНІНГУ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ ГРАФЕНОВИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК	62
Анастасія ДЗЕНДЗЕЛІВСЬКА, Тетяна ФІЛІМОНОВА АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОГО ПІДБОРУ СПІВРОБІТНИКІВ ЗГІДНО ІЗ ЗАПИТАМИ РОБОТОДАВЦІВ.....	65
Дмитро БОНДАРЕНКО, Олександр ХАРЧЕНКО ІНТЕГРОВАННИЙ МОДУЛЬ ПОЯСНЮВАНOSTІ Й КОНТРОЛЮ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ.....	69
Андрій БЄЛІНСЬКИЙ, Володимир СОЛОВЙОВ, Андрій МАТВІЙЧУК, Вікторія СОЛОВЙОВА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ ЗА РЕЖИМАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ ВИДИМОСТІ: ЗАСТОСУВАННЯ ПІДХОДУ k -ВИДИМОСТІ ДО АКЦІЙ ТА СИРОВИННИХ ТОВАРІВ	75
Данііл САНЖАРОВ, Тетяна ФІЛІМОНОВА МЕТОДОЛОГІЯ ДЕТЕКЦІЇ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ У ВОДОЙМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	80

Катерина ПАЛАГУТА МОДЕЛІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНОГО КУРСУ	84
Vladyslav VDOVYCHENKO, Valentyna PLESKACH GENERATION OF REALISTIC 3D SCENE MODELS VIA 3D GAUSSIAN SPLATTING TRAINING.....	87
Андрій ГУЖВІЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ АНАЛІЗУ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ У СИСТЕМАХ БАНКІВСЬКОГО КОМПЛАЄНСУ	92
Володимир КУЛАЖЕНКО, Анастасія БІБІКОВА РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ УКРАЇНОМОВНИХ ТЕКСТІВ	97
Наталія КОТЕНКО, Андрій АЛЕКСАНДРОВ МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ СЕМАНТИЧНИХ КОНФЛІКТІВ ЗЛИТТЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ	102
Микола МІГАЙ, Тетяна ФІЛІМОНОВА ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АНОМАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ З КРЕДИТНИМИ КАРТКАМИ.....	105
Oleksii TSESLIUK A LOCAL RAG-BASED SYSTEM FOR HEURISTIC UX EVALUATION	110
Валерій ДОМАРЄВ, Юрій ХЛАПОНІН МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНСТРУМЕНТ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	117
Андрій КОЛЯДА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВІДБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД.....	120

Анна СЕЛІВАНОВА, Анна ПОЛЮХОВИЧ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОХОДІВ ОСВІТНЬОЇ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМИ.....	123
Ганна САМОЙЛЕНКО, Анна СЕЛІВАНОВА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON.....	127
Володимир КАСКЕВИЧ ГІБРИДНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ У ПРОГНОЗУВАННІ НАВАНТАЖЕННЯ НА СЛУЖБИ ПІДТРИМКИ.....	131
Людмила КАТРЕЧА МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МЕДИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСІВ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я.....	134
Олексій ШИНДИР, Ганна САМОЙЛЕНКО ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	137
Аліса ШАМІГУЛОВА, Ігор ТИЩЕНКО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ СТАРТАП-ПРОЄКТАМИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	141
Павло ДЕМІДОВ, Милослава ТИТАРЕНКО ДЕТЕКЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ.....	149
Варвара СТРЕГЛОВА, Володимир ДИВАК НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ	152
Janusz SOBON, Ruslana SELEZNOVA ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTERNATIONAL FINANCE: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE DEVELOPMENT.....	157

Михайло ВОЛОШИН, Юрій ЮРЧЕНКО ПРОБЛЕМА ТРИВАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ (REBUILD TIME) RAID-МАСИВІВ НА БАЗІ МАГНІТНИХ ДИСКІВ ВЕЛИКОЇ ЄМНОСТІ: РИЗИКИ ТА СПОСОБИ РОЗВ’ЯЗАННЯ	161
Анастасія ЛЯГЕРА, Олександр ХАРЧЕНКО SHAREPOINT FRAMEWORK ТА ЙОГО ПЕРЕВАГИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	166
Альона ДЕСЯТКО, Валерій ЛАХНО ПРОЄКТУВАННЯ ЯДРА КОГНІТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО- УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ЛОГІСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА ТОРГІВЛІ.....	168
Ігор ТИЩЕНКО АЛГОРИТМ ПРЕВЕНТИВНОГО ЗАХИСТУ Й POST-BAN RECOVERY АКАУНТІВ МЕТА У ПРАКТИЦІ SMM У РАЗІ ПОРУШЕНЬ ПОЛІТИКИ МЕДІАФАЙЛІВ	171
Володимир ДИВАК ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ «BAS. МАЛИЙ БІЗНЕС» У ПЛАНУВАННІ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ	175
Антон КОРНЕТА ОПИС ІНТЕГРОВАНОВОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗАДАЧ ТА КОМАНДНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В AGILE-ПРОЄКТАХ	180
Valentyna PLESKACH, Maksym POSLOVSKYI METHODS AND TOOLS FOR BUILDING WEBSITE FOR SEARCHING AND PROVIDING VOLUNTEER ASSISTANCE.....	183
Тетяна ЖИРОВА ІНТЕГРАЦІЯ SPEC-DRIVEN DEVELOPMENT В AGILE-ОРІЄНТОВАНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ.....	187

Олег КУЗІН

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ЯКІСНИХ
ВИМОГ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ
ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА БАНКУ..... 191

Владислав ПАЛІЙ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ТА АНАЛІЗУ
ВИМОГ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ
AGILE-ТЕХНІК (USER STORIES, USE CASES)..... 196

Ростислав СІКОРА

ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ МІКРОСЕРВІСНОЇ
АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ 201

Tetiana STOLIAROVA

DATA PROCESSING ECOSYSTEM: SYNERGY
OF MS OFFICE AND CLOUD SOLUTIONS
FOR EFFECTIVE ANALYTICS..... 206

Андрій НЕЧЕПУРЕНКО, Олександр ХАВРЕНКО

МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛУ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ
МІЖ ДІЯМИ КОРИСТУВАЧА ТА АЛГОРИТМАМИ
YOUTUBE У НОТАЦІЇ UML ACTIVITY DIAGRAM..... 208

Кирило Савчук

ЕВОЛЮЦІЯ CRM ТА ERP-СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ
ПІДПРИЄМСТВОМ: ВІД МОНОЛІТНОЇ
ДО КОМПОЗИТНОЇ АРХІТЕКТУРИ 212

Olena HOROKHOVA

INFORMATION TECHNOLOGIES AS A DRIVER
OF THE DEVELOPMENT OF MODERN EDUCATION 216

Віталій БАЗУРІН, Ольга ЧАШЕЧНИКОВА

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕДАГОГІЧНОГО
ЕКСПЕРИМЕНТУ 220

Анжела РИМАР ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЧИСЛОВИХ РЯДІВ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ЕКОНОМІСТІВ	223
Сергій ЗИБІН, Вадим КОЧМАР МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ ГІБРИДНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ФІНАНСОВИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АКТИВІВ.....	229
Valentyna PLESKACH, Mykyta PALAMARCHUK TOOLS FOR DEVELOPING A WEB-BASED INFORMATION SYSTEM FOR TRAINING PROCESS MANAGEMENT	232
Włodzimierz SAPUN THE DIGITAL SHIFT: INFORMATION TECHNOLOGIES IN MODERN EDUCATION	240
Роман ЯКОВЕНКО РОЛЬ СИСТЕМ ОРКЕСТРАЦІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ.....	242
Тетяна ПІДГОРНА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК СКЛАДОВА ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ІТ-СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	244
Максим ХОМЕНКО АДАПТИВНІСТЬ ГІБРИДНОЇ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ ДО МІКРОСТРУКТУРИ ФІНАНСОВИХ РИНКІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ BTC-USD, ЗОЛОТА Й НАФТИ	247

Марія БЕССАРАБ

студент

(orcid.org/0009-0002-0398-9814)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Юрій ЮРЧЕНКО

старший викладач

(orcid.org/0000-0002-8047-7647)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ RAID-МАСИВІВ У СУЧАСНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

У сучасну епоху цифровізації обсяги даних стрімко зростають, що зумовлює необхідність створення ефективних систем їх зберігання. Значна частина інформації генерується у цифровому вигляді, а темпи її накопичення мають експоненційний характер, що створює суттєве навантаження на інфраструктуру зберігання даних [1, 2]. Основними вимогами до таких систем є висока надійність, продуктивність і ефективне використання ресурсів.

Надійність систем зберігання визначається їх здатністю забезпечувати збереження даних навіть у разі відмов окремих компонентів. Враховуючи обмежений термін служби сучасних носіїв інформації, проблема втрати даних залишається актуальною [1]. Одним із базових підходів до підвищення надійності є використання надлишковості, зокрема реплікації та резервування даних, що концептуально лежить в основі RAID-масивів.

Рівні RAID відрізняються між собою підходами до організації надлишковості та характеристиками ефективності [3]. RAID (Redundant Array of Independent Disks) – це підхід до організації дискових підсистем, при якому декілька фізичних накопичувачів об'єднуються в один логічний масив для підвищення продуктивності та стійкості до відмов [4]. Основний принцип RAID полягає у використанні надлишковості шляхом дублювання даних або їх розподілу із застосуванням контрольних сум. Для узагальнення їх основних характеристик доцільно використати порівняльну таблицю 1.

Порівняльна характеристика рівнів RAID

Рівень RAID	Принцип організації даних	Надійність	Продуктивність	Ефективність використання дискового простору	Відмовостійкість
RAID 0	Розподіл даних (striping)	Низька	Висока	100%	Відсутня
RAID 1	Дзеркалювання (mirroring)	Висока	Середня	~50%	1 диск
RAID 5	Розподілений паритет	Середня	Висока (читання), середня (запис)	$(N-1)/N$	1 диск
RAID 6	Подвійний паритет	Висока	Середня (читання), низька (запис)	$(N-2)/N$	2 диски
RAID 10	Комбінування (1+0)	Дуже висока	Висока	~50%	Залежить від конфігурації

Як видно з таблиці, кожен рівень RAID має свої переваги та недоліки, що визначає доцільність їх використання залежно від вимог до системи зберігання даних. Ефективність RAID-масивів доцільно оцінювати за сукупністю показників, серед яких продуктивність операцій читання/запису (IOPS), затримки доступу (latency), ступінь використання дискового простору, а також показники відмовостійкості. Важливим фактором є час відновлення (rebuild time), оскільки саме в цей період система є найбільш вразливою до додаткових відмов, що може призводити до втрати даних [1].

У розподілених обчислювальних системах RAID-масиви використовуються переважно на рівні окремих вузлів як базовий механізм забезпечення відмовостійкості. Проте зі збільшенням масштабу систем їх ефективність знижується, оскільки відмови можуть відбуватися не лише на рівні дисків, а й на рівні серверів та мережевої інфраструктури.

У таких умовах застосовуються більш масштабовані підходи, зокрема реплікація та erasure coding. Реплікація передбачає збереження кількох повних копій даних на різних вузлах, що підвищує доступність і надійність, але суттєво збільшує витрати ресурсів (наприклад, трикратна реплікація потребує 300% обсягу даних) [1]. Як зазначається у дослідженнях, навіть проста схема реплікації не

гарантує абсолютної надійності через обмежений час відновлення, протягом якого існує ризик додаткових відмов [1].

Альтернативою є erasure coding, який базується на розбитті даних на k інформаційних і m надлишкових блоків. Такий підхід дозволяє відновлювати дані при втраті частини блоків і забезпечує вищу ефективність використання пам'яті порівняно з класичною реплікацією при збереженні високого рівня відмовостійкості [1].

Сучасні розподілені файлові системи, такі як Hadoop Distributed File System (HDFS) та Ceph, поєднують різні механізми забезпечення надійності, включаючи реплікацію та erasure coding. Вони дозволяють зберігати дані на великій кількості вузлів, забезпечуючи масштабованість, відмовостійкість і прозорий доступ до інформації [2].

Важливим аспектом проєктування таких систем є компроміс між узгодженістю, доступністю та стійкістю до мережевих розділень, що описується теоремою CAP (рис. 1).

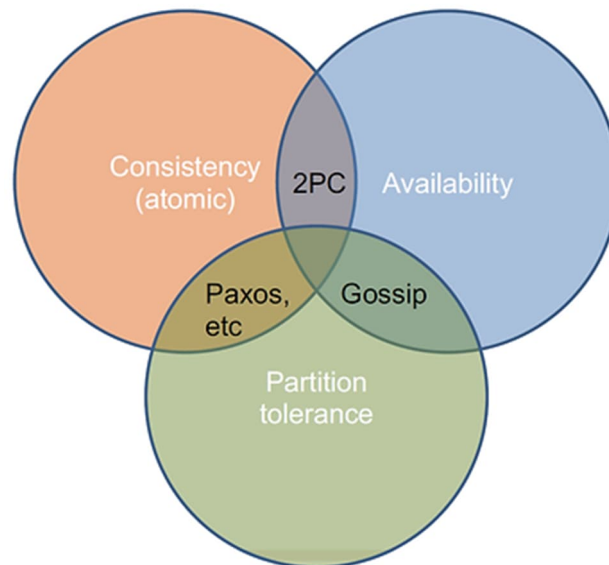


Рис. 1. Теорема CAP (Consistency, Availability, Partition Tolerance)

Це безпосередньо впливає на вибір механізмів забезпечення надійності та визначає доцільність використання RAID у поєднанні з розподіленими підходами [2].

Таким чином, RAID-масиви залишаються важливим базовим механізмом підвищення надійності на рівні окремих дискових підсистем. Водночас у сучасних розподілених системах вони виступають лише як частина багаторівневої архітектури зберігання даних, де основна роль переходить до реплікації та erasure coding, що дозволяє досягати кращого балансу між продуктивністю, надійністю та ефективністю використання ресурсів.

Список використаних джерел

1. Venkatesan, V. (2012). Reliability analysis of data storage systems (Doctoral dissertation, École Polytechnique Fédérale de Lausanne). EPFL. С. 1–11. Режим доступу: –<https://infoscience.epfl.ch/server/api/core/bitstreams/2f67d234-44e8-459d-a141-f1c00a7524d6/content>
2. Braams, B. (2012). Distributed file systems: a current overview and future outlook. University of Amsterdam / Vrije Universiteit. С. 4–5. Режим доступу: https://staff.fnwi.uva.nl/a.s.z.belloum/LiteratureStudies/Reports/2018-Distributed_file_systems.pdf
3. Red Hat, Inc. (2008). Red Hat Enterprise Linux 4: Introduction to System Administration (2nd ed.). Red Hat, Inc. С. 82–85. Режим доступу: https://docs.redhat.com/en/documentation/red_hat_enterprise_linux/4/pdf/introduction_to_system_administration/Red_Hat_Enterprise_Linux-4-Introduction_To_System_Administration-en-US.pdf
4. Проценко, І. А. (2025). Безпека даних у RAID і розподілених системах. Information systems and technologies. Державний торговельно-економічний університет. Режим доступу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/us/article/id-2187/>

Марк СВЕРГУН

аспірант

(orcid.org/0009-0001-0230-4361)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Олег ПУРСЬКИЙ

доктор фізико-математичних наук, професор

(orcid.org/0000-0002-1230-0305)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

АРХІТЕКТУРА КОНВЕЄРА ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ЗВАЖУВАННЯ ПРІОРИТЕТІВ У НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Інтенсивне зростання обсягів цифрового контенту в електронній комерції, медіасервісах та платформах персоналізованого навчання робить задачу автоматизованого формування рекомендацій одним із

ключових прикладних напрямів обробки великих масивів даних. Сучасні рекомендаційні системи спираються на нейромережеві моделі, які інтегрують різноманітні сигнали – явні оцінки, неявні відгуки, контекстні чинники та контентні характеристики об’єктів [1]. Якість таких систем визначається не лише архітектурою моделі ранжування, а й властивостями інженерного конвеєра, що забезпечує підготовку, оновлення та доставку ознак до етапу інференсу [2].

У межах дисертаційного дослідження автором запропоновано механізм адаптивного зважування пріоритетів (Adaptive Priority Weighting, далі – APW), що передбачає ієрархічне моделювання інтересів споживача на трьох рівнях: базові тематичні преференції, контекстні чинники миттєвої взаємодії та довгострокові латентні інтереси. Кожен рівень характеризується власною темпоральною динамікою – від хвилин до місяців – і потребує окремих параметрів темпу оновлення, узгодженості й доступності даних. Безпосереднє перенесення такої багаторівневої моделі на типову Lambda-архітектуру [3] призводить до неузгодженості ознак між пакетною та потоковою гілками й до зростання частки холодного старту. Метою роботи є обґрунтування архітектури конвеєра обробки даних, узгодженого з ієрархічною структурою APW.

Запропоновано декомпозицію конвеєра на чотири логічні шари (рис. 1): шар приймання подій, шар агрегації ознак, шар зберігання представлень та шар формування рекомендацій. Шари відокремлені асинхронними інтерфейсами на основі журналу подій, що дозволяє розгортати й масштабувати їх незалежно та забезпечує властивість часткової відмовостійкості.

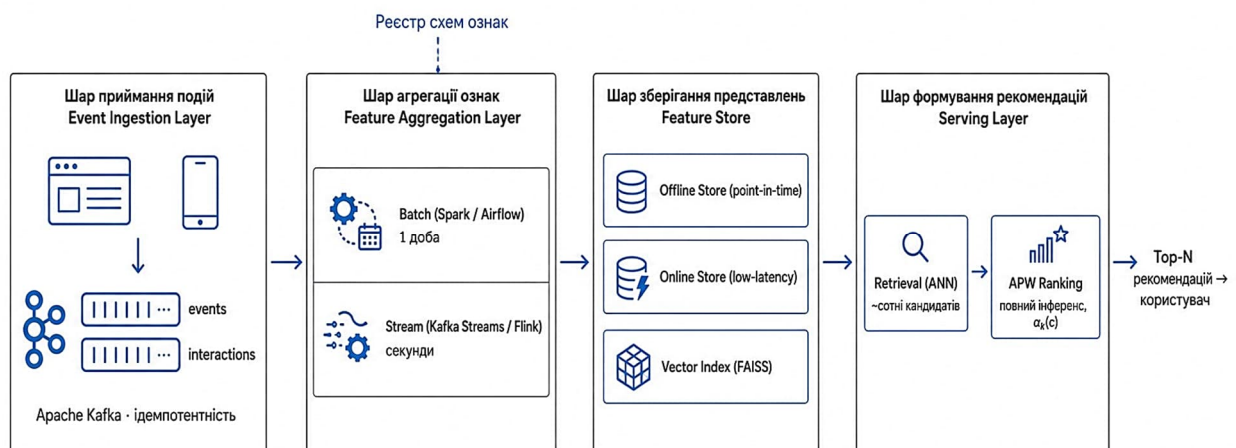


Рис. 1. Архітектура чотиришарового конвеєра обробки даних для нейромережевої рекомендаційної системи з механізмом APW

Шар приймання подій акумулює взаємодії користувача з контентом у вигляді послідовності подій з обов'язковими атрибутами: ідентифікатор користувача, ідентифікатор елемента, тип події, часова позначка та унікальний ключ ідемпотентності. Обраний транспорт – розподілений журнал з гарантією доставки «не менше одного разу» та збереженням порядку в межах ключа (наприклад, Apache Kafka), що дозволяє споживачам коректно відтворити стан профілю користувача без дублювання.

Шар агрегації ознак містить дві паралельні гілки: пакетна (з періодом виконання одна доба) формує довгострокові ознаки користувача й елемента; потокова (із затримкою порядку секунд) оновлює короткострокові ознаки контексту. Узгодженість гілок забезпечується принципом єдиного джерела істини: обидві споживають один і той самий журнал подій і використовують спільну версію специфікації ознак з реєстру схем, що унеможливорює розбіжності між онлайн-і офлайн-режимами (training-serving skew).

Шар зберігання представлень реалізовано як гібридне сховище ознак (feature store) з офлайн-компонентом (підтримує запити з обмеженням за часом, забезпечуючи point-in-time correctness) та онлайн-компонентом (актуальні значення з затримкою порядку мілісекунд). Векторні представлення елементів зберігаються у спеціалізованому індексі наближеного пошуку найближчих сусідів (Approximate Nearest Neighbor) [4], що дозволяє звести задачу відбору кандидатів зі сотень мільйонів елементів до сотень кандидатів за обмежений час. Скор релевантності елемента i для користувача u у контексті c обчислюється як зважена сума функцій відповідності за рівнями пріоритетів:

$$R(u, i, c) = \sum_{k=1..K} \alpha_k(c) \cdot f_k(eu^k, ei^k), \quad (1)$$

де K – кількість рівнів пріоритетів (для запропонованої моделі $K = 3$); $\alpha_k(c)$ – контекстно-залежна вага k -го рівня, що обчислюється підмережею уваги [5]; eu^k та ei^k – ембедінги користувача й елемента на k -му рівні. Вираз (1) задає вимоги до конвеєра: для кожного рівня необхідно підтримувати окремий простір ембедінгів і забезпечити доступність вектора контексту з мінімальною затримкою.

Шар формування рекомендацій працює у двоетапному режимі. На першому етапі (відбір кандидатів) виконується наближений пошук найближчих сусідів за ембедінгом базового рівня – результатом є попередній список з кількох сотень елементів. На другому етапі (точне ранжування) застосовується повна модель APW з обчисленням

ваг для всіх трьох рівнів і скорів за виразом (1). Такий розподіл дозволяє утримати загальну затримку відповіді в межах сотень мілісекунд навіть для каталогів значного обсягу.

Диференційовані вимоги шарів конвеєра до темпу оновлення, семантики узгодженості й затримки систематизовано у таблиці 1.

Таблиця 1

Диференційовані вимоги до шарів конвеєра за рівнями пріоритетів APW

Шар конвеєра	Рівень пріоритетів	Темп оновлення	Семантика узгодженості	Цільова затримка
Приймання подій	усі рівні	реальний час	at-least-once	< 100 мс
Агрегація (batch)	базові, латентні	доба	eventual	години
Агрегація (stream)	контекстні	секунди	eventual	< 1 с
Зберігання (offline)	базові, латентні	доба	point-in-time	хвилини
Зберігання (online)	усі рівні	постійне	read-your-writes	мілісекунди
Формування	усі рівні	на запит	strong (контекст)	< 300 мс

Запропонована архітектура враховує задачу холодного старту: для нового користувача базовий рівень обнуляється, але контекстний залишається інформативним, і вага першого рівня в (1) автоматично знижується підмережею уваги. Ідемпотентність потокової гілки забезпечується вихідним журналом транзакцій (transactional outbox) з дедуплікацією за ключем. Версія специфікації ознак фіксується разом з версією навчених ваг моделі, що гарантує узгодженість при поетапному оновленні.

Запропоновано чотиришарову архітектуру конвеєра обробки даних, узгоджену з ієрархічною структурою споживчих пріоритетів у механізмі APW. Відокремлення гілок обробки за рівнями пріоритетів і використання журналу подій як єдиного джерела істини усуває характерну для багаторівневих рекомендаційних систем неузгодженість між онлайн- і офлайн-режимами. Перспективним напрямом є експериментальна оцінка архітектури на наборах MovieLens-25M

і Amazon Reviews з вимірюванням як якісних (HR@10, NDCG@10), так і інженерних метрик (event-to-feature latency, training-serving skew), а також інтеграція з підходами онлайн-навчання ваг $\alpha_k(c)$ на основі багаторукового бандита.

Список використаних джерел

1. Covington, P., Adams, J., & Sargin, E. (2016). Deep Neural Networks for YouTube Recommendations. In Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys '16) (pp. 191–198). New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/2959100.2959190>
2. Naumov, M., Mudigere, D., Shi, H.-J. M., Huang, J., Sundaraman, N., Park, J., ... Smelyanskiy, M. (2019). Deep Learning Recommendation Model for Personalization and Recommendation Systems. arXiv preprint, arXiv:1906.00091. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.00091>
3. Akidau, T., Bradshaw, R., Chambers, C., Chernyak, S., Fernández-Moctezuma, R. J., Lax, R., ... Whittle, S. (2015). The Dataflow Model: A Practical Approach to Balancing Correctness, Latency, and Cost in Massive-Scale, Unbounded, Out-of-Order Data Processing. Proceedings of the VLDB Endowment, 8(12), 1792–1803. <https://doi.org/10.14778/2824032.2824076>
4. Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2021). Billion-Scale Similarity Search with GPUs. IEEE Transactions on Big Data, 7(3), 535–547. <https://doi.org/10.1109/TBDDATA.2019.2921572>
5. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need. In Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NeurIPS 2017) (pp. 5998–6008).
6. Pursky, O., Kharchenko, O., Dubovyk, T., & Buchatska, I. (2020). Customer Transaction Costs Simulation in E-Commerce. CEUR Workshop Proceedings, 2616, 359–372.
7. Pursky, O., Selivanova, A., Dubovyk, T., & Herasymchuk, T. (2019). Software Implementation of E-Trade Business Process Management Information System. CEUR Workshop Proceedings, 2546, 171–181.

Олег ПУРСЬКИЙ

доктор фізико-математичних наук, професор
(orcid.org/0000-0002-1230-0305)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Тетяна ФІЛІМОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент
(orcid.org/0000-0001-9467-0141)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Анна СЕЛІВАНОВА

старший викладач
(orcid.org/0000-0001-6559-1508)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕКСТОВИХ І ВІЗУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОНАЛЬНОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ

Повідомлення в соціальних мережах часто мають не тільки текстову складову, а й зображення, що робить задачу аналізу тональності мультимодальною. Визначення емоційної полярності таких повідомлень є актуальним для аналізу громадської думки, у дослідженнях цифрової комунікації. Задача ускладнюється тим, що сучасні повідомлення є короткими, можуть містити неформальну лексику, скорочення, неоднозначний текст.

Метою дослідження є порівняння трьох підходів до класифікації тональності повідомлень: текстового, візуального та мультимодального. Використано набір даних MVSA, сформований на основі соціальних даних (повідомлення Twitter), містить текст та зображення [1]. Реалізовано три експериментальні моделі: Text-only на основі DistilBERT, Image-only на основі ResNet18 та Text + Image, у якій текстові ознаки DistilBERT поєднуються з візуальними ознаками ResNet18 шляхом конкатенації. Використання трансформерних моделей у задачах обробки природної мови стало одним із ключових напрямів розвитку сучасного сентимент-аналізу. В роботі використано DistilBERT, компактнішу версію BERT, яка є менш ресурсоємною та більш швидкою [2, 3]. Для обробки зображень застосовано ResNet18[4]. Після попередньої обробки до аналізу було включено

4869 прикладів трьох класів: negative, neutral та positive. Класи в датасеті відносно збалансовані: 1771 приклад класу neutral, 1646 – positive, 1452 – negative (рис. 1).

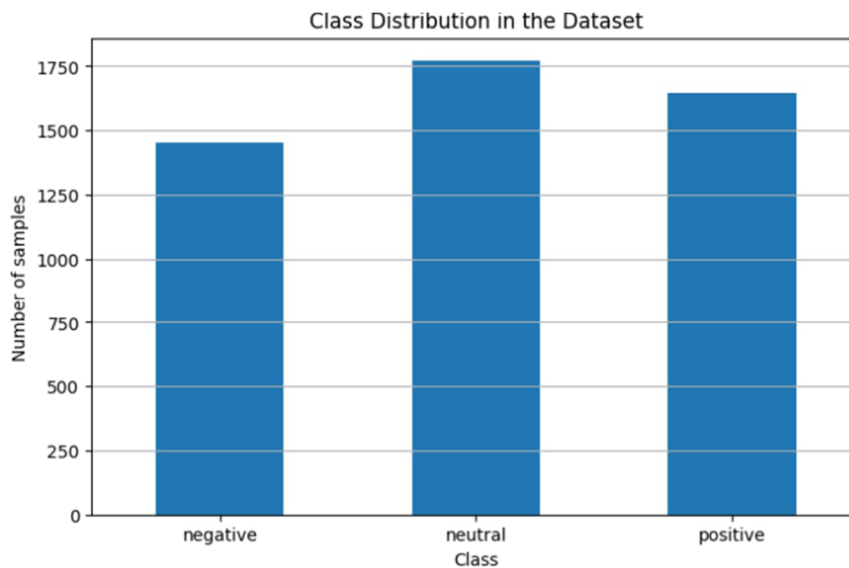


Рис. 1. Розподіл класів в наборі даних

Для навчання дані розділено на навчальну, тестову та валідаційну вибірки у пропорції 80/10/10. Перший експеримент проведено з використанням тільки текстових даних. Тексти токенозовано за допомогою distilbert-base-uncased із максимальною довжиною послідовності 128 токенів. Модель складається з попередньо навченого DistilBERT-енкодера та блоку класифікації для трьох класів. У другому експерименті використано лише зображення, які нормалізовано та подано на вхід ResNet18. У третьому експерименті текстові та візуальні ознаки об'єднано єдиний вектор, який передано до блоку класифікації мультимодальної моделі.

Для навчання моделей використано функцію втрат CrossEntropyLoss, оптимізатор AdamW та механізм Early Stopping для запобігання перенавчанню. Якість моделей оцінено за метриками accuracy, precision, recall, macro F1 та weighted F1. Для реалізації експериментів застосовано бібліотеки PyTorch, HuggingFace Transformers і scikit-learn [4, 5, 6]. Результати експериментів представлено в табл. 1.

Із таблиці видно, що найгіршу якість продемонструвала Image-only модель. Accuracy становить 0,3634, а weighted F1 – 0,3365. Тобто зображення в наборі даних самі по собі не завжди містять достатньо явні ознаки емоційної полярності.

Порівняння метрик моделей

Модель	Accuracy	F1 weighted
Text-only	0,7906	0,7888
Image-only	0,3634	0,3365
Text + Image	0,7885	0,7889

Text-only модель на основі DistilBERT показала кращі результати. Accuracy – 0,7906, weighted F1 – 0,7888. Це підтверджує високу інформативність текстових підписів у задачі аналізу тональності.

Мультимодальна Text + Image модель отримала accuracy 0,7885 та weighted F1 0,7889. Формально її weighted F1 є найвищим серед трьох моделей, однак різниця з Text-only моделлю є мінімальною. Як висновок, додавання зображень до текстових ознак не забезпечило суттєвого приросту якості.

В ході дослідження побудовано криві навчання для трьох експериментів рис. 2–4.

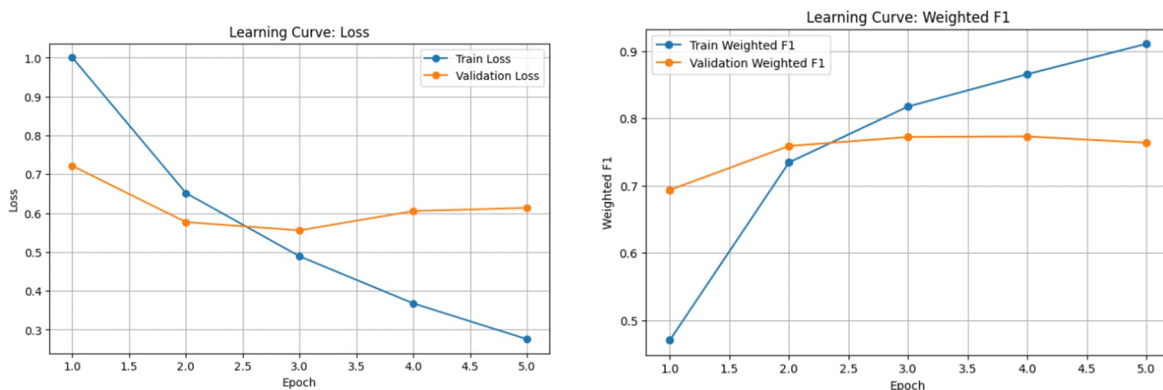


Рис. 2. Криві навчання для моделі Text-only

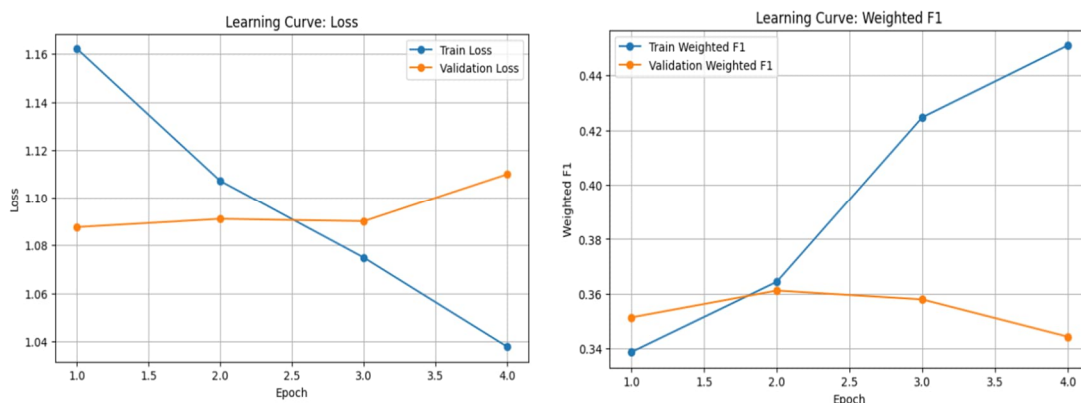


Рис. 3. Криві навчання для моделі Image-only

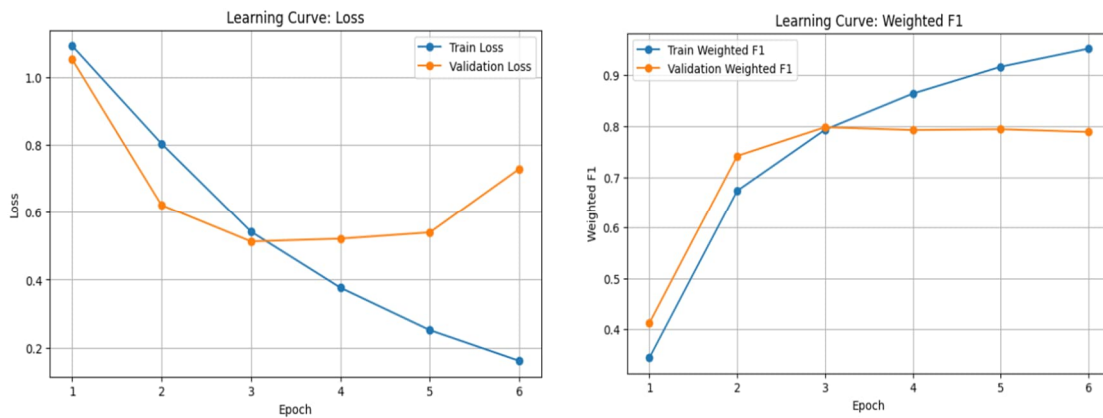


Рис. 4. Криві навчання для моделі Text + Image

З рисунків 2-4 можна зробити висновок, для моделі Image-only характерна низька якість узагальнення, тому що за зменшення training loss валідаційна метрика Weighted F1 не покращується. Для моделі Text-only після покращення метрик на перших епохах з'являються помірні ознаки перенавчання. Модель Text + Image має швидке зростання Weighted F1 на початку навчання з подальшою стабілізацією та незначними ознаками перенавчання (графік функції втрат).

На рисунку 5 представлено порівняння метрики F1-score для моделей за класами negative, neutral та positive.

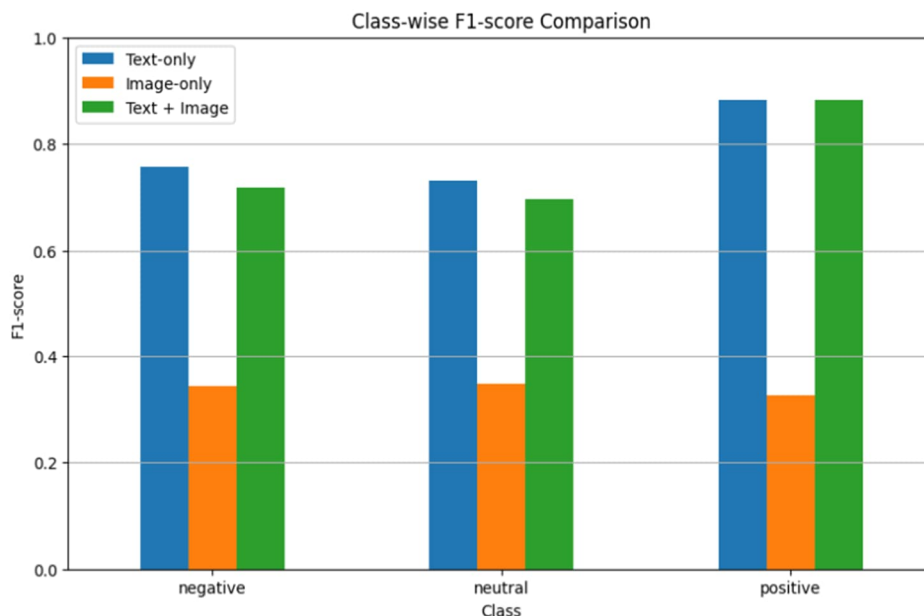


Рис. 5. Порівняння метрики F1-score для моделей класифікації тексту

З рисунку можна зробити висновок, що текстові ознаки мають найбільший вплив на якість класифікації тональності. Застосування мультимодальної моделі є ефективніше за image-only, однак не забезпечує покращення порівняно з text-only моделлю.

Отримані результати підтверджують, що для набору MVSA текстова модальність надає переважну частину інформації для визначення тональності. Зображення, що не містять текстовий контекст, є недостатньо інформативними, їх додавання до текстової моделі майже не змінює загальну якість класифікації. Мультимодальний підхід може бути перспективним за умови використання складніших способів поєднання ознак.

Таким чином, у межах даного дослідження найкращий результат показали Text-only модель та Text + Image модель. Зазначимо, що текстова модель показала майже такий самий результат, як мультимодальна модель, але є простішою за архітектурою та менш ресурсоемною.

Перспективами подальших досліджень є використання складніших мультимодальних архітектур, CLIP-подібних моделей, Vision Transformer для обробки зображень, а також глибший аналіз помилок класифікації для окремих класів.

Список використаних джерел

1. Jasim, D. (2023). *Twitter dataset for sentiment analysis: Enrichment MVSA dataset with sentiment label* [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/dunyajasim/twitter-dataset-for-sentiment-analysis>
2. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). *BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
3. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2020). *DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.01108>
4. Torch Contributors. (n.d.). *Resnet18 – Torchvision main documentation*. PyTorch. Retrieved May 10, 2026, from <https://docs.pytorch.org/vision/main/models/generated/torchvision.models.resnet18.html>
5. Hugging Face. (n.d.). *Hugging Face: The AI community building the future*. Retrieved May 10, 2026, from <https://huggingface.co/>
6. Scikit-learn. (n.d.). *Scikit-learn: Machine learning in Python*. Retrieved May 10, 2026, from <https://scikit-learn.org/stable/>

Максим СЕЛЕЗНЬОВ

кандидат технічних наук

(orcid.org/0009-0009-6697-9358)

Державний університет економіки і технологій

м. Кривий Ріг, Україна

Людмила ШОКОТЬКО

викладач

(orcid.org/0000-0001-7294-2003)

Державний університет економіки і технологій

м. Кривий Ріг, Україна

ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РІЗАННЯ ПЛОСКОГО МЕТАЛОПРОКАТУ ШЕВРОННИМ НОЖЕМ

В умовах сучасного розвитку машинобудівного виробництва велике значення має використання інформаційних технологій, як на етапі проєктування спеціалізованого обладнання, так і при розробці технології його використання. При цьому розробка вузькоспеціалізованих програмних рішень для моделювання окремих технологічних процесів може бути доцільніша, ніж використання більш універсальних програмних комплексів.

На поточний час, при виробництві обладнання для металургійного виробництва, існує задача автоматизації проєктування технології різання плоского металопрокату шевронним ножом [1–3]. Це ускладнюється тим, що для реалізації цієї розділової операції може застосовуватися двосхилий шевронний ніж з формою ріжучої кромки, яка відрізняється від класичної наявністю конструктивного елементу у вигляді скруглення в вершині сходження похилих прямолінійних площин. Таке рішення дозволяє підвищити якість готового металопрокату за рахунок зменшення його залишкової деформації, однак призводить до суттєвого збільшення величини сили різання на завершальній стадії розділової операції. При цьому, класичні методики розрахунку не дозволяють оцінити максимальне значення сили

різання в такому випадку. В той же час, максимальне значення сили різання та ширина плоского металопрокату значною мірою визначають металоємність проєктованих ножиць та можливість використання шевронного ножа зі скругленням на існуючих ножицях при їх вдосконаленні з метою підвищення якості готового металопрокату.

В умовах машинобудівного виробництва, для вирішення поставленої задачі може бути використаний вузькоспеціалізований програмний продукт, який дозволяє оперативно виконувати розрахунок показників процесу різання плоского металопрокату шевронним ножом в залежності від основних технологічних параметрів розділової операції, що є корисним як при висуненні техніко-економічних пропозицій на поставку необхідних ножиць так і в процесі їх проєктування та модернізації.

В основу розробленого програмного продукту була покладена математична модель процесу різання плоского металопрокату шевронним ножом, яка дозволяє визначати максимальну силу різання для випадку застосування шевронного ножа зі скругленням шляхом отримання розподілу значень цієї величини в залежності від переміщення ножа безпосередньо при розрізанні металопрокату. Також, для визначення металоємності необхідних ножиць, була використана залежність представлена в роботах [3, 4]. Вона дозволяє визначати масу ножиць з шевронним ножом в залежності від величини сили різання та ширини металопрокату що розрізається.

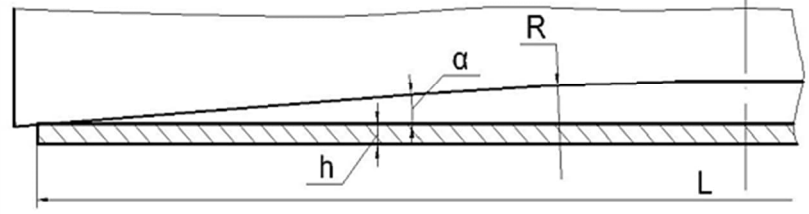
Розробка програмного продукту виконувалася на мові програмування Python, оскільки вона має широкий набір бібліотек для вирішення такої задачі. Окрема увага приділялася розробці графічного інтерфейсу користувача, який повинен мати достатній функціонал та інформативність для визначення необхідних технологічних параметрів розглянутої розділової операції. Реалізація графічного інтерфейсу виконувалася з використанням бібліотеки Tkinter, яка входить до стандартного набору Python та надає достатні можливості для створення віконних застосунків з підтримкою основних інтерактивних елементів інтерфейсу.

Графічний інтерфейс головного вікна розробленого програмного продукту представлений на рис. 1.

Розрахунок технологічних параметрів процесу різання

Введіть вихідні дані:

Металопрокат:		Ніж:	
Товщина, h (мм):	25	Кут нахилу, α (°):	3
Ширина, L (мм):	1500	☐ класичний	
Межа міцності, σ (МПа):	450	☒ скруглений	
Відносне подовження:	0.25	Радіус, R (мм):	2500



Параметри розрахунку:

☐ Мінімальний кут нахилу	☒ Сила різання та маса ножиць
☒ Сила різання (кН):	
☐ Маса ножиць (кг.):	

Рис. 1. Графічний інтерфейс головного вікна розробленого програмного продукту

При роботі з розробленим програмним продуктом, результати розрахунку представляються в окремому вікні, яке також містить вихідні параметри розрахунку, розрахункову схему та розподіл значень сили різання в залежності від переміщення шевронного ножа. Графічний інтерфейс вікна з результатами розрахунку представлений на рис. 2. В даному випадку розрахунок проводився для процесу різання плоского металопрокату товщиною 25 мм, шириною 1500 мм та межею міцності 450 МПа з використанням шевронного ножа з кутом нахилу прямолінійних площин ріжучої кромки 3° та скругленням радіусом 2500 мм. Для зазначених вихідних параметрів максимальна сила різання складає 3470 кН, а маса ножиць 28478 кг. При цьому отриманий розподіл значень сили різання в залежності від переміщення шевронного ножа показує, що наявність скруглення дійсно призводить до суттєвого збільшення значення сили різання в завершальній стадії розділової операції, що треба враховувати при проєктуванні ножиць. Програмна реалізація відображення даного розподілу виконувалася з використанням бібліотеки Matplotlib.

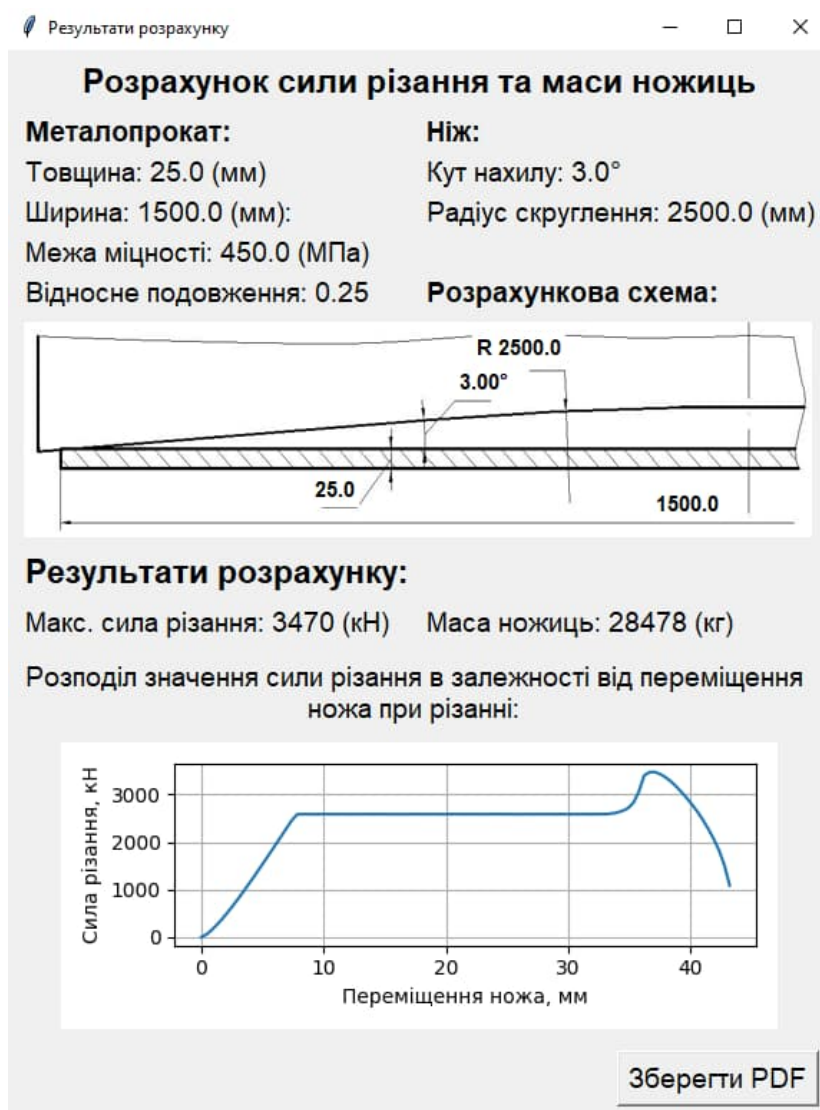


Рис. 2. Графічний інтерфейс вікна з результатами розрахунку.

Розроблений програмний продукт має зручний інтерфейс та дозволяє автоматизувати розрахунок сили різання та маси необхідних ножиць в залежності від основних вихідних параметрів розділової операції, як у випадку використання класичного шевронного ножа так і зі скругленням. При цьому, для процесу різання класичним шевронним ножом також можливий розрахунок мінімального кута нахилу його ріжучих кромek при заданій силі різання або масі ножиць. Це може бути доцільним при визначенні оптимальних параметрів реалізації процесу різання для досягнення максимальної якості готового металопрокату. Таким чином, розроблений програмний продукт може використовуватися в умовах машинобудівного та металургійного виробництв при проектуванні та вдосконаленні ножиць з шевронним ножом.

Список використаних джерел

1. Gustafsson, E., Karlsson, L., & Oldenburg, M. (2016). Experimental study of forces and energies during shearing of steel sheet with angled tools. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40712-016-0063-1>
2. Gustafsson, E., Oldenburg, M., & Jansson, A. (2014). Design and validation of a sheet metal shearing experimental procedure. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(11), 2468–2477. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.05.013>
3. Seleznov, M. Y., & Borovik, P. V. (2025). Analysis of separation process parameters influence on the metal capacity of shears with a chevron knife. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 1(6), 22–27. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/04>
4. Seleznov, M., & Borovik, P. (2024). Dependence of metal shears consumption on technological parameters of the process of shearing flat rolled metal products. *Economics and technical engineering*, 2(1), 133–144. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.11>

Андрій БАЙ

аспірант

(orcid.org/0009-0005-1940-6021)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

МЕТОДИ Й АЛГОРИТМИ РЕТОПОЛОГІЇ 3D-ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

На сьогоднішній день ретопологія 3D-об'єктів залишається необхідним етапом створення моделі у більшості AAA пайплайнів. Найбільш якісну low poly сітку можна отримати лише виконавши цей процес вручну – в середовищі моделювання чи у спеціалізованому програмного забезпеченні для ретопології. Цей процес характеризується високою трудомісткістю, репетитивністю та серйозними вимогами до фахівця щодо розуміння edge flow. Саме тому існує велика кількість засобів, які здатні виконувати ретопологію автоматично [1]. Основними засобами для виконання авторетопології, що доступні

широкому користувачу, є спеціалізовані алгоритми, вбудовані безпосередньо у програмне забезпечення для 3D-моделювання, або аддони призначені для професійного використання.

ZRemesher – вбудований в Zbrush алгоритм авторетопології, розроблений компанією Pixologic, який вважається промисловим стандартом для органічного моделювання. Він працює на основі аналізу полів орієнтації (field-aligned methods), що дозволяє автоматично створювати чисту чотирикутну сітку, яка повторює основні анатомічні вигини моделі.

QuadRemesher – найпопулярніший кросплатформний аддон (доступний для Blender, Maya, 3ds Max) від компанії Exoside, що використовує складні ітераційні алгоритми для генерації топології.

Instant Meshes – потужний безкоштовний інструмент з відкритим кодом, який часто використовується як наукова база для досліджень. Він базується на методі вирівнювання за геодезичними напрямками та дозволяє користувачеві вручну «направляти» потік ребер за допомогою інтерактивного малювання напрямних ліній.

Autopo (3DCoat) – один із найбільш функціональних інструментів автоматичної ретопології, інтегрований у програмний комплекс 3DCoat від української компанії Pilgway. Цей алгоритм вирізняється високим ступенем контролю над процесом: він дозволяє користувачеві не лише задавати цільову кількість полігонів, а й визначати пріоритетні зони щільності сітки та власноруч малювати направляючі криві (guide strokes) для точного керування потоком ребер (edge flow).

Ці інструменти є готовими впровадженими продуктами, які стали стандартом індустрії для автоматизації процесу ретопології 3D моделей. Але вони працюють на основі спеціальних алгоритмів, а не моделей штучного інтелекту. Згідно опитуванню «Poliigon State of 3d in 2025», серед фахівців з 3D 64% опитаних не використовують III генерацію 3D моделей взагалі, а на щоденній основі ними користується лише 1% опитаних. Важливо зазначити, що річ іде про всі III генератори 3D моделей, а не лише III ретопологію. [2]. Таким чином, можна зробити висновок, що більшість користувачів віддає перевагу інструментам, що базуються на алгоритмах, а не на моделях штучного інтелекту. Станом на сьогодні жоден з великих 3D пакетів не має вбудованих засобів III ретопології, всі подібні моделі є або експериментальними моделями, що використовуються в науковій діяльності, або III інструментами, що працюють у зв'язці з сервісами нейромережевої генерації 3D об'єктів, як спосіб компенсувати низьку якість топології та високий полікаунт (кількість полігонів) вихідної

моделі. Такі інструменти дозволяють оптимізовувати сітку моделі прямо у браузері, і працюють не тільки з моделями, згенерованими у веб-додатку, а і з будь-якою high-poly моделлю [3, 4]. Серед нейромережових моделей для 3D ретопології, які є частиною сервісів для III генерації 3D об'єктів можна виділити:

Hunyuan 3D Studio – це потужна open-source система нейромережової генерації 3D об'єктів від корпорації Tencent. Вона має широкі можливості по генерації моделей на основі тексту чи зображення, III текстурювання, ріггінгу, анімації тощо. Інструмент PolyGen використовує архітектуру Transformer для послідовного передбачення вершин та граней. Це дозволяє системі створювати «чистіші» меші порівняно з методами, що базуються на вокселях чи хмарах точок.

Meshy AI – один з лідерів серед хмарних сервісів для 3D генерації. Після генерації моделі (яка зазвичай має дуже щільну і хаотичну сітку), Meshy пропонує використати інструмент Remesh для оптимізації сітки. Він використовує нейронні мережі для аналізу форми та перетворення її на лоу-полі модель із правильною орієнтацією полігонів.

Tripo AI – це платформа для швидкої text-to-image генерації 3D ассетів. Позиціонує себе як платформа, орієнтована на спеціалістів у галузі з 3D дизайну, і пропонує набір інструментів, що відповідає вимогам професійного циклу розробки 3D моделей.

При тестуванні сервісів Hunyuan 3D Studio, Meshy AI та Tripo AI було отримано наступні результати:

- Сервіси Meshy AI та Tripo AI добре вкладаються у заданий полікаунт. Відмінність у кількості трикутників вихідної low poly моделі складала 216 та 653 трикутників відповідно. Hunyuan 3D Studio в свою чергу перевищила полікаунт на 3819.
- Hunyuan 3D Studio краще підходить для hard surface моделей (або органіки для 3D друку), в той час як Meshy AI та Tripo AI краще справляються з моделями під анімацію.
- Hunyuan 3D Studio продемонструвала здатність розпізнавати навіть дрібні функціональні елементи, та підлаштовувати під них топологічну структуру.
- Edge flow моделей, згенерованих Meshy AI та Tripo AI, є менш якісним, ніж у ZRemesher, але Tripo AI має досить високу адаптивність до змін кривизни поверхні.
- Деякі сервіси III ретопології (в даному випадку Tripo AI) можуть продукувати меш з артефактами, що характерні для популярних інструментів, які базуються на алгоритмах, що може свідчити про їх однаковий спосіб сприйняття форми моделі (наприклад, воксельний або хмара точок).

Хоча традиційні методи, такі як ручна ретопологія або використання алгоритмів авторетопології досі є стандартом індустрії, на ринку з'являється все більше засобів, які базуються на моделях штучного інтелекту. Загальний розвиток генеративного ШІ та вихід потужних моделей для генерації 3D-моделей логічно призводить до розвитку методів ШІ-ретопології як частини комплексного рішення для повноцінного створення 3D моделей – від генерації базового мешу до ретопології і текстурування.

Наразі вони не демонструють серйозних переваг над ручним методом та роботою популярних аддонів, але є важливими елементами сервісів генерації 3D-об'єктів, оскільки є частинами комплексного рішення, що дозволяє повноцінно виконувати всі етапи створення моделі – від генерації базового мешу та ретопології до текстурування та ригінгу.

Список використаних джерел

1. Yichun Shi, Peng Wang, Jianglong Ye, Mai Long, Kejie Li, Xiao Yang (2023). MVDream: Multi-view Diffusion for 3D Generation (arXiv:2308.16512). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.16512>
2. *State of 3D 2025* (2025, Листопад 15). Poliigon. <https://www.poliigon.com/state-of-3d>
3. Chuei-Huei Kung, Kuei-Chia Liang (2025). Exploring the Usability and Future Development of AI-Generated 3D. *Computer-Aided Design & Applications*, 22(5), 782-804 DOI: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2025.782-804>
4. Huang SS, Zhang SK, Yang S et al. (2025) A survey of recent advances in generative 3D reconstruction. *Journal of Computer Science and Technology*, 40(5): 1236–1254, Sept. 2025. DOI: 10.1007/s11390-025-5462-4

Андрій ГОЛИНСЬКИЙ

аспірант

(orcid.org/0009-0002-9009-118X)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ ТРАЄКТОРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ Й ЕТИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ

Розвиток цифрових освітніх платформ та інтелектуальних інформаційних систем суттєво трансформує підходи до організації навчального процесу. Одним із ключових напрямів сучасної цифрової освіти є персоналізація навчання, яка передбачає адаптацію освітнього середовища до індивідуальних характеристик, потреб та особливостей здобувача освіти. Використання методів ШІ та навчальної аналітики дозволяє автоматизувати процес формування індивідуальних освітніх траєкторій і підвищити ефективність засвоєння навчального матеріалу [1]. Водночас активне впровадження інтелектуальних систем у сферу освіти супроводжується низкою проблем, пов'язаних із невизначеністю вхідних даних, непрозорістю алгоритмів прийняття рішень та етичними аспектами використання штучного інтелекту. Серед найбільш актуальних викликів виокремлюють ризики алгоритмічної упередженості, складність пояснення рекомендацій системи, а також можливість порушення принципів справедливості та конфіденційності [2], [3]. У сучасних дослідженнях дедалі більшої уваги набуває концепція пояснюваного ШІ (Explainable Artificial Intelligence, XAI), орієнтована на підвищення прозорості та інтерпретованості інтелектуальних систем [1]. Використання пояснюваних моделей є особливо важливим у сфері освіти, оскільки рішення, що формуються системою, можуть безпосередньо впливати на індивідуальну освітню траєкторію здобувача освіти, рівень його академічної успішності та доступ до освітніх ресурсів. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні концептуальних моделей персоналізації освітніх траєкторій, які поєднують можливості ІАД із механізмами врахування невизначеності та етичних обмежень. Запропонована концептуальна модель базується на інтеграції методів навчальної аналітики, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та механізмів етичного контролю. Основною метою моделі є формування персоналізованої освітньої траєкторії з урахуванням індивідуальних характеристик

користувача, рівня невизначеності освітнього середовища та необхідності забезпечення прозорості прийняття рішень. На першому етапі система здійснює збір та обробку даних про здобувача освіти. До таких даних можуть належати результати навчальної діяльності, активність у цифровому освітньому середовищі, темп проходження навчальних модулів, особливості взаємодії з контентом та інші поведінкові характеристики. Застосування технологій learning analytics дозволяє формувати динамічний профіль користувача та виявляти приховані закономірності навчальної поведінки [1]. Важливим елементом моделі є модуль аналізу невизначеності, оскільки освітні дані часто характеризуються неповнотою, динамічністю та неоднозначністю. Невизначеність може виникати внаслідок змін навчальної мотивації, нестабільності результатів оцінювання або недостатнього обсягу даних про користувача. Для зниження впливу таких факторів доцільним є використання багатокритеріального підходу до прийняття рішень, який дозволяє враховувати одночасно декілька параметрів персоналізації [5]. Особливу роль у запропонованій моделі відіграє етичний модуль, призначений для контролю справедливості та прозорості функціонування системи. Його завданням є мінімізація ризиків алгоритмічної упередженості та забезпечення пояснюваності рекомендацій, сформованих системою (табл. 1). У сучасних дослідженнях наголошується, що недостатня прозорість інтелектуальних систем може негативно впливати на довіру користувачів до освітніх платформ та ефективність їх використання [2]. Концептуальна модель передбачає взаємодію модулів навчальної аналітики, аналізу невизначеності, етичного контролю та інтелектуального прийняття рішень (рис. 1). На основі комплексного аналізу даних система формує персоналізовані рекомендації щодо подальшої освітньої траєкторії користувача.

Таблиця 1

Основні етичні ризики персоналізованих освітніх систем

Етичний ризик	Спосіб мінімізації
Алгоритмічна упередженість	Використання Explainable AI
Непрозорість рекомендацій	Інтерпретовані моделі прийняття рішень
Невизначеність вхідних даних	Багатокритеріальний аналіз
Порушення конфіденційності	Захист та анонімізація даних

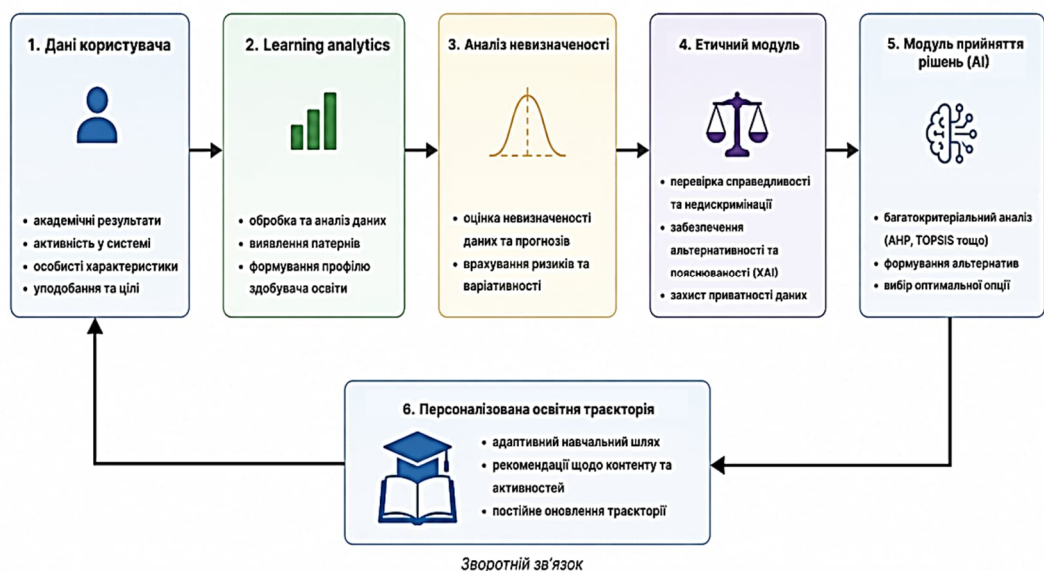


Рис. 1. Концептуальна модель персоналізації освітніх траєкторій в умовах невизначеності та етичних обмежень.

Структура моделі включає такі основні компоненти: модуль збору даних користувача; модуль learning analytics; модуль аналізу невизначеності; етичний модуль; AI-модуль підтримки прийняття рішень; модуль формування персоналізованої освітньої траєкторії. Використання концепції Explainable AI дозволяє забезпечити пояснюваність сформованих рекомендацій та підвищити рівень довіри користувачів до системи [4]. Крім того, застосування механізмів етичного контролю сприяє зменшенню ризиків дискримінації та підвищує адаптивність освітнього середовища до потреб різних категорій здобувачів освіти. Запропонована концептуальна модель поєднує можливості навчальної аналітики, інтелектуального аналізу даних та механізмів Explainable AI. Особливістю моделі є врахування невизначеності освітнього середовища, а також реалізація етичного контролю під час формування рекомендацій щодо індивідуальної освітньої траєкторії. Даний підхід дозволяє підвищити прозорість прийняття рішень інтелектуальними освітніми системами, зменшити ризики алгоритмічної упередженості та забезпечити більш адаптивну взаємодію користувача з цифровим освітнім середовищем. Використання багатокритеріального аналізу та explainable AI створює передумови для розробки гнучких персоналізованих систем підтримки навчання, орієнтованих на потреби здобувачів освіти. Перспективною подальших досліджень є розробка формалізованої математичної моделі оцінювання невизначеності та практична реалізація адаптивної системи персоналізації освітніх траєкторій на основі інтелектуальних алгоритмів підтримки прийняття рішень.

Список використаних джерел

1. Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Tsai, Y.-S., Kay, J., Knight, S., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., & Gašević, D. (2022). Explainable artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>
2. Farrow, R. (2023). The possibilities and limits of explicable artificial intelligence in education. *Learning, Media and Technology*, 48(2), 167–178. <https://doi.org/10.1080/17439884.2023.2185630>
3. Akgun, S., & Greenhow, C. (2022). Artificial intelligence in education: Addressing ethical challenges in K-12 settings. *AI and Ethics*, 2(3), 431–440. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00096-7>
4. Okolo, C. T. (2023). *Towards a praxis for intercultural ethics in explainable AI* (arXiv Preprint No. arXiv:2304.11861). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11861>
5. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Павло ДЕМІДОВ

кандидат технічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0003-4085-2809)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Поліна СУШКО

студент
(orcid.org/0009-0004-9930-6081)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

СЕГМЕНТАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОЕТАПНОЇ МОДЕЛІ MASK R-CNN

Задача сегментації об'єктів на зображенні є однією з основних у сучасному комп'ютерному зорі. Її розв'язують при обробці медичних знімків і кадрів з камер відеоспостереження. На відміну від класифікації, що визначає лише наявність об'єкта, та детекції, яка локалізує

його обмежувальною рамкою, сегментація формує піксельну маску, яка точно окреслює межі об'єкта. Серед сучасних підходів виділяють двоетапні (twostage) та одноетапні (one-stage) моделі. Двоетапні моделі, до яких належить Mask R-CNN, дають вищу точність маски і тому є еталонним рішенням для задач, у яких точність важливіша за швидкість обробки [1]. Метою роботи є аналіз архітектури двоетапної моделі Mask R-CNN та оцінка її точності на задачі сегментації об'єктів довільної природи.

Mask R-CNN є розширенням моделі Faster R-CNN [2]: до існуючих гілок класифікації та регресії обмежувальних рамок додано паралельну гілку передбачення бінарної маски для кожного знайденного об'єкта. Архітектура складається з двох етапів. На першому етапі мережа Region Proposal Network (RPN) генерує множину кандидатів регіонів інтересу (Region of Interest, RoI). На другому етапі для кожного кандидата виконується вирівнювання ознакової карти за допомогою операції RoIAlign та паралельне передбачення класу, координат рамки і піксельної маски (рис. 1).

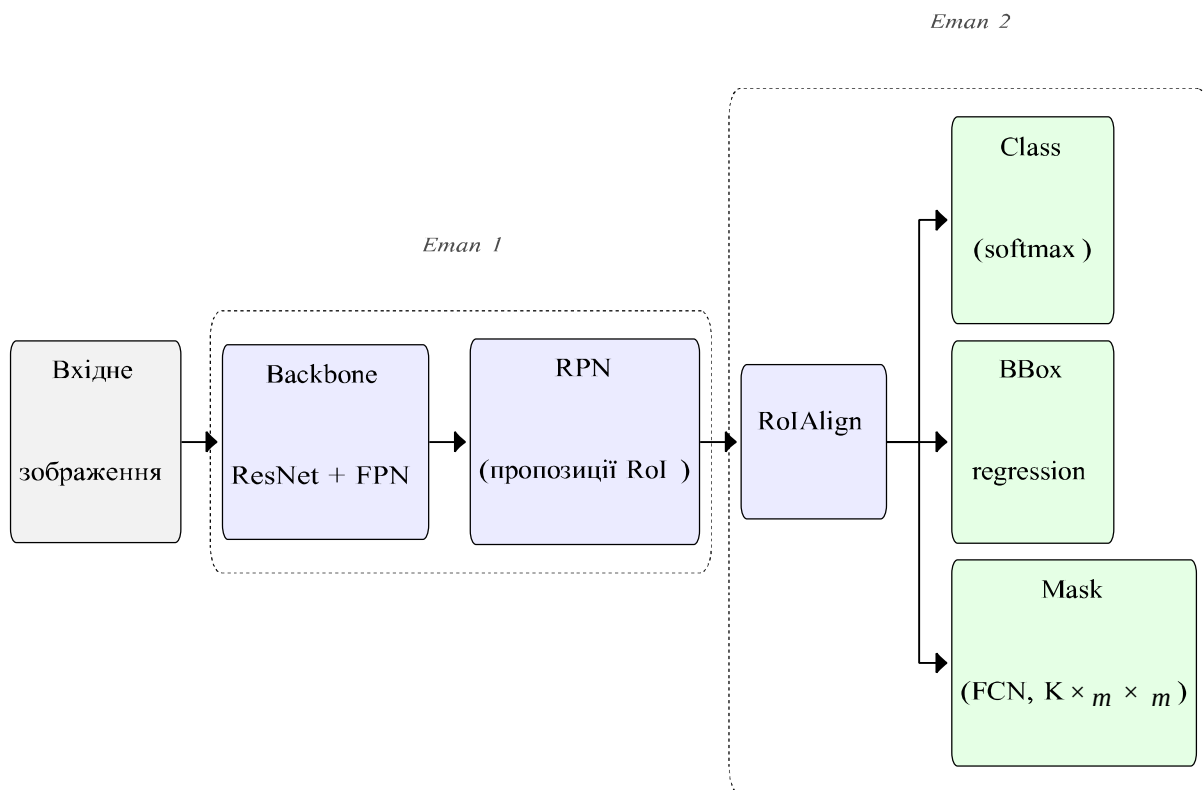


Рис. 1. Узагальнена схема двоетапної архітектури Mask R-CNN [1].

Головною особливістю Mask R-CNN є операція RoIAlign, яка замінює застарілу RoIPool. Остання застосовує квантування координат регіонів, через що ознакова карта зміщується відносно вхідного

зображення і якість маски падає. RoIAlign використовує білінійну інтерполяцію без квантування, тому просторова відповідність зберігається на рівні окремих пікселів.

Як бекбон-мережа, що виділяє ознаки із зображення, у класичній реалізації Mask R-CNN застосовується ResNet-50 або ResNet-101 у поєднанні з пірамідою ознак Feature Pyramid Network (FPN) [3]. FPN формує багатомасштабну ознакову карту, що дозволяє сегментувати об'єкти різного розміру: від дрібних деталей до великих об'єктів переднього плану.

Функція втрат Mask R-CNN складається з трьох компонентів і обчислюється як сума втрат класифікації, регресії обмежувальної рамки та сегментаційної маски:

$$L=L_{cls}+L_{box}+L_{mask}, \quad (1)$$

де L_{cls} – втрати багатокласової класифікації (cross-entropy), L_{box} – втрати регресії координат рамки (smooth L1), L_{mask} – усереднена бінарна кросентропія для маски, обчислена лише для класу-переможця.

Для оцінки якості сегментації використовуються метрики Intersection over Union (IoU) та середня точність mean Average Precision (mAP), обчислена за різних порогів IoU. У таблиці 1 наведено порівняння Mask R-CNN з представниками одноетапних архітектур YOLACT [5] та SOLOv2 [6] на наборі даних COCO 2017 [4].

Таблиця 1

Порівняння моделей сегментації на COCO 2017

Модель	Тип	mAP, %	FPS
Mask R-CNN (ResNet-101 + FPN)	two-stage	37,1	5
YOLACT (ResNet-101)	one-stage	31,2	33
SOLOv2 (ResNet-101)	one-stage	39,7	10

За результатами таблиці 1 Mask R-CNN має mAP 37,1% і поступається за цією метрикою лише SOLOv2 (39,7%). При цьому модель стабільно працює на нестандартних класах об'єктів і легко адаптується під власні набори даних через механізм transfer learning.

Експериментальна частина роботи передбачає навчання Mask RCNN на власному наборі зображень з використанням попередньо натренованих ваг COCO та подальшим донавчанням (fine-tuning) останніх шарів. Як середовище реалізації обрано бібліотеку PyTorch та модуль torchvision.models.detection, що містить офіційну імплементацію моделі.

Дослідження архітектури та принципів роботи двоетапної моделі Mask R-CNN показало, що поєднання Region Proposal Network, RoIAlign та FPN-бекбона дає піксельну маску з точністю 37,1% mAP на наборі даних COCO 2017. Попри появу швидших одноетапних архітектур, Mask R-CNN досі є базовою моделлю для задач сегментації об'єктів. Її доцільно застосовувати там, де головним критерієм є точність меж сегментованих об'єктів.

Список використаних джерел

1. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2961–2969. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>
2. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(6), 1137–1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>
3. Lin, T.Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature pyramid networks for object detection. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2117–2125. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.106>
4. Lin, T.Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C.L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. *Lecture Notes in Computer Science*, 8693, 740–755. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48
5. Bolya, D., Zhou, C., Xiao, F., & Lee, Y.J. (2019). YOLACT: Realtime instance segmentation. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 9157–9166. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00925>
6. Wang, X., Zhang, R., Kong, T., Li, L., & Shen, C. (2020). SOLOv2: Dynamic and fast instance segmentation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33(2), 17721–17732. Retrieved from <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/cd3afef9b8b89558cd56638c3631868a-Abstract.html>

Олексій САВОН

аспірант

(orcid.org/0009-0006-4905-8969)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТНІХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та цифровізації суспільства дистанційне навчання стало невід'ємною складовою сучасної освіти. Освітні платформи відіграють ключову роль у забезпеченні доступу до знань, організації взаємодії між викладачем і студентом, а також у підтримці безперервного навчального процесу незалежно від місця перебування користувачів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема створення ефективних моделей освітніх платформ, які б відповідали потребам сучасних здобувачів освіти та забезпечували високий рівень засвоєння навчального матеріалу.

Одним із найбільш перспективних напрямів у сфері розвитку освітніх платформ є когнітивний підхід, що базується на врахуванні особливостей людського мислення, сприйняття, пам'яті та процесів обробки інформації. Такий підхід дозволяє не лише вдосконалити технічні характеристики освітніх систем, а й підвищити ефективність навчання шляхом адаптації освітнього середовища до індивідуальних когнітивних особливостей користувачів [1].

Когнітивний підхід до моделювання освітніх платформ дистанційного навчання спрямований на відтворення та підтримку процесів пізнавальної діяльності користувача, що дозволяє розглядати освітню платформу не лише як засіб передачі знань, а як інтелектуальну систему управління навчанням. У межах цього підходу використовуються як спеціалізовані методи моделювання, так і відповідні когнітивні моделі, що разом формують основу адаптивної та персоналізованої освітньої системи [2].

Одним із базових методів є когнітивне картування (Cognitive Mapping). Його сутність полягає у представленні знань у вигляді графової структури, де вузли відповідають поняттям, а зв'язки відображають логічні або семантичні залежності між ними. Реалізація цього методу здійснюється через побудову графів знань (knowledge graphs) з використанням технологій семантичного вебу, онтологій (OWL,

RDF) та графових баз даних (наприклад, Neo4j). У межах освітніх платформ це дозволяє формувати індивідуальні карти знань студента, проводити діагностику рівня засвоєння матеріалу та будувати адаптивні рекомендації.

Метод сценарного когнітивного моделювання (Cognitive Scenario Modeling) розглядає навчальний процес як послідовність когнітивних станів користувача. Цей метод реалізується через workflow-моделі, finite state machines або BPMN-нотації, які описують переходи між етапами навчання, такими як сприйняття, осмислення, закріплення та перевірка знань. У практичному аспекті це дозволяє створювати гнучкі навчальні сценарії, що змінюються залежно від дій студента, а також інтегрувати інтелектуальні тьютор-системи.

Важливим компонентом є метод адаптивного когнітивного профілювання (Adaptive Cognitive Profiling), який передбачає формування динамічного профілю користувача. Реалізація цього методу базується на зборі та аналізі поведінкових даних (clickstream data, learning analytics), використанні алгоритмів машинного навчання (класифікація, clustering) та моделей розпізнавання навчальних стилів. У результаті формується багатовимірна модель студента, що дозволяє системі персоналізувати навчальний контент, темп і формат подачі матеріалу.

Метод оптимізації когнітивного навантаження (Cognitive Load Optimization) спрямований на підвищення ефективності навчання через раціональну організацію інформації. Його реалізація включає принципи instructional design, такі як chunking (розбиття інформації на невеликі блоки), використання мультимедійних елементів відповідно до теорії мультимедійного навчання, а також адаптивне дозування складності матеріалу. Технічно це реалізується через модульну структуру курсів, адаптивні інтерфейси та системи керування навчальним контентом (LMS).

Метод метакогнітивного керування (Metacognitive Regulation) забезпечує підтримку саморегульованого навчання. Його реалізація передбачає використання механізмів self-assessment, систем зворотного зв'язку, дашбордів прогресу та інтелектуальних підказок. З технологічної точки зору застосовуються recommendation systems, adaptive feedback engines та інструменти візуалізації даних, які допомагають студенту усвідомлювати власний прогрес і коригувати навчальну стратегію.

На базі цих методів формуються когнітивні моделі освітніх платформ. Базовою є трикомпонентна модель «Student–Content–Context Model», яка інтегрує модель студента (Student Model), модель контенту (Content Model) та модель контексту (Context Model).

Реалізація цієї моделі передбачає використання баз даних користувачів, систем керування контентом і контекстно-залежних сервісів, що дозволяють враховувати умови навчання в реальному часі [3].

Розширенням є адаптивна модель навчання (Adaptive Learning Model), яка будується на циклічному процесі оцінювання, аналізу й адаптації. Технічно вона реалізується через алгоритми Bayesian Knowledge Tracing, Item Response Theory, а також нейронні мережі для прогнозування успішності. Ця модель дозволяє автоматично визначати рівень знань студента і відповідно змінювати навчальну траєкторію [4].

Більш складною є модель когнітивного цифрового двійника (Cognitive Digital Twin), яка формує цифрове представлення когнітивних процесів користувача. Реалізація такої моделі передбачає інтеграцію knowledge graphs, систем зберігання навчальної історії та аналітичних модулів на базі AI. Вона дозволяє не лише аналізувати поточний стан знань, але й прогнозувати майбутні результати навчання та поведінку користувача.

Узагальненням розглянутих підходів є запропонована інтегрована когнітивно-орієнтована модель освітньої платформи (Cognitive-Oriented E-Learning Architecture, COELA). Вона реалізується як багаторівнева система, де когнітивний рівень відповідає за моделі знань і користувача (knowledge representation, user modeling), адаптивний рівень містить алгоритми персоналізації (machine learning, recommendation systems), контентний рівень базується на модульній організації матеріалів (content management systems), інтерфейсний рівень реалізує когнітивно-орієнтований UX/UI, а аналітичний рівень забезпечує збір і обробку даних (learning analytics, data mining). Взаємодія цих рівнів забезпечується через сервіс-орієнтовану або мікросервісну архітектуру, що дозволяє масштабувати систему та інтегрувати нові інтелектуальні компоненти.

Підсумовуючи, хочеться зазначити, поєднання когнітивних методів і моделей з сучасними технологіями їх реалізації забезпечує створення інтелектуальних освітніх платформ, які здатні адаптуватися до індивідуальних особливостей користувача, оптимізувати навчальний процес і підвищувати ефективність засвоєння знань.

Список використаних джерел

1. Ткаченко О. (2019) Когнітивне моделювання складних систем. Інформаційні технології в освіті, мистецтві та культурі, том 2 № 1. с. 11–19. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.2.1.2019.175650>

2. Фурман А. Ф. (2009) Освітні сценарії: сутність, композиція, принципи створення. Психологія та суспільство, №3. – С. 174–192. Retrieved from <https://pis.wunu.edu.ua/index.php/uapis/article/view/428>
3. Стеценко І. В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І. В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с. Retrieved from <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/739/view/1740>
4. Харченко В. О. Моделювання нейронних мереж: навч. посіб. / В. О. Харченко. – Суми: Сумський державний університет, 2024. – 263 с. Retrieved from <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi79/0059500.pdf>

Олександр ВИШНІВСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-0510-7283)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

БАЗА ДАНИХ АНТЕН У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ АВІАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

На сучасному літаку може встановлюватися декілька десятків антен різних типів, що створює проблему електромагнітної сумісності (ЕМС). Вирішувати цю проблему на етапі фізичного конструювання означає великі матеріальні витрати, оскільки неоптимально встановлена антена вимагає утилізації відповідної частини фюзеляжу та заміни його на нову плюс витрати на монтаж та сертифікацію. Тому очевидно виникає необхідність первинного комп'ютерного моделювання електромагнітної обстановки навколо літака за допомогою спеціальних програм, що дозволяє економити десятки, а то й сотні тисяч доларів.

Представлена формула дозволяє розрахувати коефіцієнти взаємного впливу незалежних антен на основі струмів, що збуджуються цими антенами, з урахуванням геометрії літака, на якому вони встановлені, та просторової відстані між антенами. Вираз базується на попередньо знайдених струмах. Щоб знайти ці струми, нам потрібно використовувати метод моментів (МоМ).

Рівняння Поклінгтона [1]:

$$\frac{i}{\omega \varepsilon_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I(z') \left[\frac{\partial^2 G(z, z')}{\partial z^2} + k^2 G(z, z') \right] dz' = E_{\tau}^i(z) \quad (1)$$

де ω – кутова частота, Рад/с; $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$; $G(z, z') = \frac{e^{-ikr}}{4\pi r}$ – функція Гріна; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, 1/м; λ – довжина хвилі, $r = \sqrt{(z - z')^2 + a^2}$ м; a – радіус сегмента моделі, м; $I(z') = \int_x j(z) dz$ лінійний струм у точці z' , А; $E_{\tau}^i(z)$ – тангенціальна складова електричного поля хвилі, що падає на поверхню сегмента сіткової моделі в точці спостереження z , В / м.

Права частина (1) має сенс узагальненої напруги збудження U . Цей вираз еквівалентний формальній системі лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} I_1 z_{11} + I_2 z_{12} + \dots + I_N z_{1N} &= U_1 \\ I_1 z_{21} + I_2 z_{22} + \dots + I_N z_{2N} &= U_2 \\ &\vdots \\ I_1 z_{N1} + I_2 z_{N2} + \dots + I_N z_{NN} &= U_N \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де z_{mn} – взаємний опір (узагальнений імпеданс) елемента сіткової моделі; z_{nn} – його власний опір. Систему рівнянь (2) можна записати у матричній формі:

$$[Z] \cdot [I] = [U], \quad (3)$$

де $[Z]$ – матриця узагальнених імпедансів, $[I]$ – вектор-стовпець невідомих коефіцієнтів розкладання (струмів), $[U]$ – вектор-стовпець джерел збудження для падаючого електричного поля (узагальнена напруга збудження).

Розв'язання (3) здійснюється спеціальними програмами (які часто використовують метод розкладання Z -матриці за Краутом) і може бути записано у вигляді:

$$[I] = [Z]^{-1} [U] \quad (4)$$

Коефіцієнт взаємного електромагнітного впливу N випромінювальних антен (вже встановлених на тривимірному струмопровідному об'єкті складної конфігурації) та пасивної антени (у точці, що знаходиться на цьому тривимірному об'єкті, де має бути встановлена ця нова антена) для незалежних радіоелектронних засобів (РЕЗ), коли необхідно забезпечити електромагнітну сумісність між ними та зазначеною вище пасивною антеною, можна визначити за співвідношенням:

$$K_0 = 10 \lg \frac{P_r}{\sum_{i=1}^N P_i} = 20 \lg \frac{I_r}{\sum_{i=1}^N I_i}, \text{ dB} \quad (5)$$

де P_i – потужність, що подається на передавач антени i -го РЕЗ, характеризує ненавмисний вплив на пасивну антену РЕЗ, що встановлюється; P_r – вихідна потужність пасивної антени РЕЗ; I_i – струм, що подається на антенний передавач i -го РЕЗ; I_r – струм на виході пасивної антени RES, розрахований за допомогою МоМ (1-4).

На рис. 1 зображено тривимірну сіткову модель гіпотетичного літака, створену у програмі **Blender**, розміром $6,38 \text{ м} \times 11,1 \text{ м} \times 2,21$, яка розглядається в цьому дослідженні м (хоча її за бажанням можна перетворити на модель реалістичного літака довільної конфігурації).

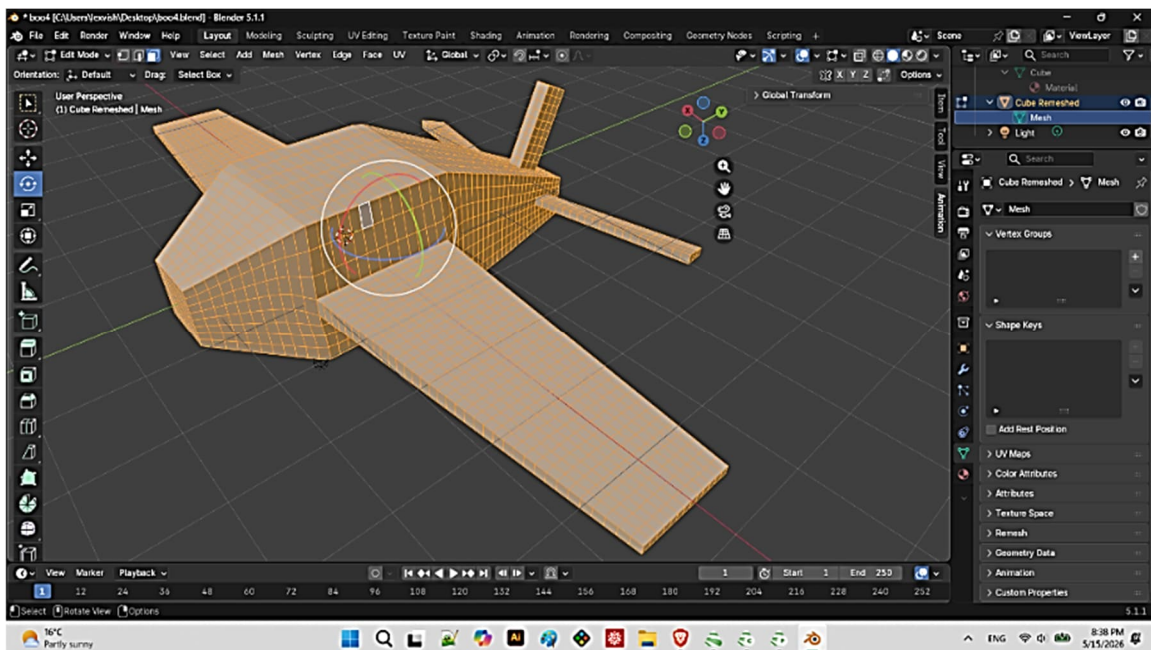


Рис.1. Сіткова модель літака (3D-геометрія)

На рис. 2 показано розподіл струмів, знайдених за допомогою МоМ у програмі **Feko** від **Altair** [2] для випадку елементарного випромінювача, встановленого посередині фюзеляжу (у місці, де зазвичай встановлюється VHF антена), та 7696 трикутних елементів моделі.

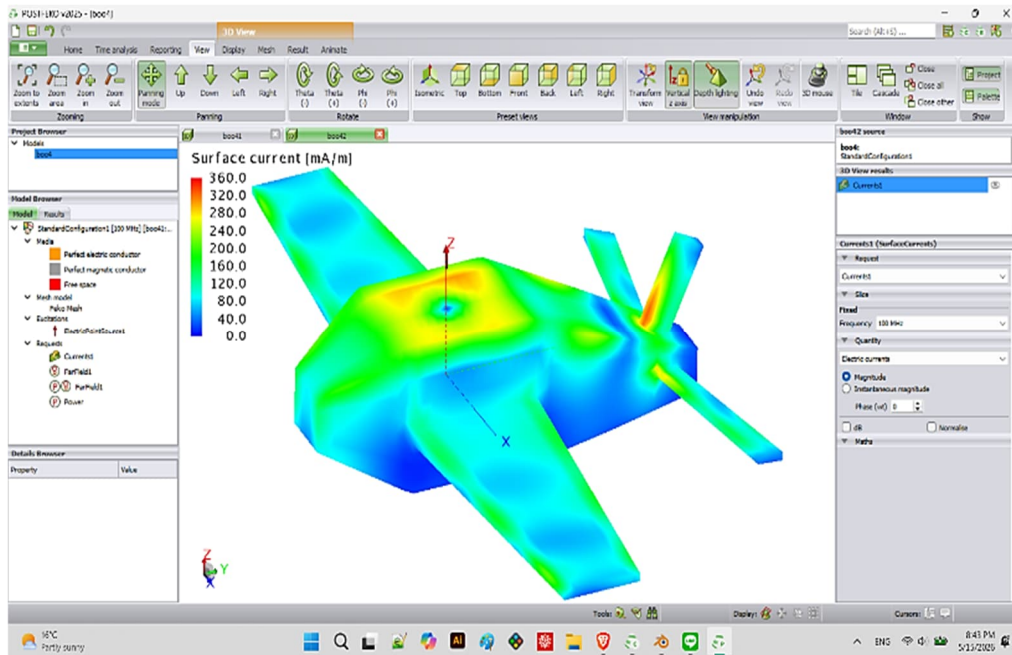


Рис. 2. Розподіл струмів по поверхні моделі літака на частоті 100 МГц

На рис. 3 показана ER-діаграма бази даних (БД) [3], створеної за допомогою **MySQL**. Вона складається з трьох таблиць. Таблиця **Antenna** містить інформацію про параметри випромінюючої антен (антен). Таблиця **Airplane** описує модель літака. Нарешті таблиця **Places** зберігає інформацію про місця встановлення іншої антени (антен), рекомендовані згідно виконаних розрахунків.

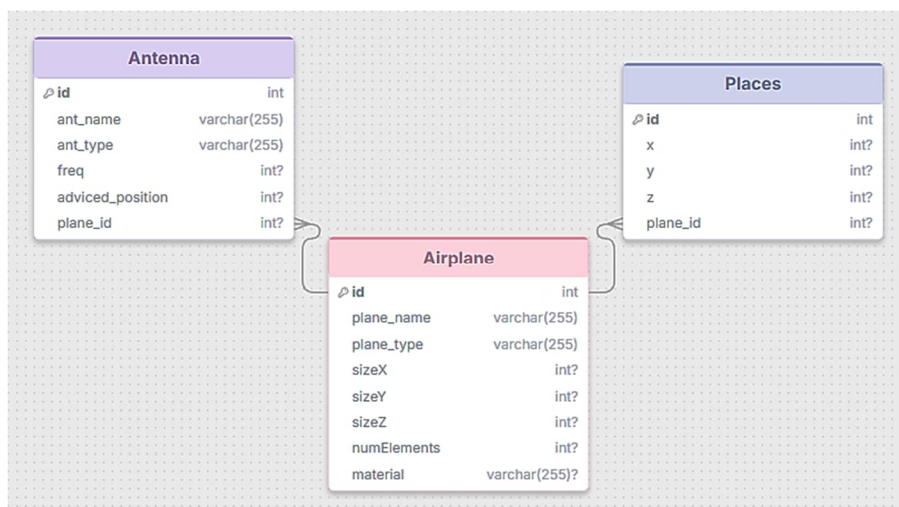


Рис. 3. ER-діаграма БД EMC

Згідно з виконаними розрахунками, іншу антену доцільно встановлювати у певних місцях, показаних на рис. 2 синім або зеленим кольором, де поверхневі струми (наведені електромагнітним полем, що створене випромінюючою антеною), а значить і коефіцієнти взаємного електромагнітного впливу (5), є мінімальними. Створена БД дозволяє систематизувати вхідні та вихідні дані та полегшити процедуру розміщення антен на літаку з урахуванням отриманих рекомендацій щодо їх просторового положення.

Список використаних джерел

1. Mittra, R. (1973). *Computer Techniques for Electromagnetics*. Oxford, New York : Pergamon Press.
2. FEKO. Retrieved from: <https://altair.com/feko>
3. Vishnevsky A. V. (2026) Antenna database for aircraft electromagnetic compatibility problems 3d-to-2d geometry transformation technique. *Science, Technologies, Innovations*, 1(37), 103–109.

Kostiantyn SAPUN
student

The University of Manitoba, Manitoba, Canada

Ruslana SELEZNOVA

PhD, associate professor

(orcid.org/0000-0003-3080-773X)

State university of trade and economics, Kyiv, Ukraine

THE CONCEPT OF THE METAVERSE FOR COMPUTER SCIENCE SPECIALISTS: TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS, APPLICATIONS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Digital transformation has become one of the defining characteristics of modern society. Advances in information technologies, network infrastructure, and artificial intelligence have significantly changed the ways people communicate, work, study, and interact with digital systems. Within this context, the concept of the metaverse has attracted increasing academic and industrial attention.

The metaverse can be defined as a persistent digital environment that combines virtual spaces, interactive technologies, and real-time communication.

Users participate in these environments through avatars and digital identities, enabling immersive experiences that integrate elements of the physical and virtual worlds.

The concept became particularly popular after the development of virtual reality (VR), augmented reality (AR), blockchain technologies, and cloud computing systems. Major technology companies such as Meta, Microsoft, and NVIDIA have invested heavily in the development of metaverse-related technologies and platforms.

For computer science specialists, the metaverse represents not only a technological innovation but also a multidisciplinary research field involving software engineering, distributed systems, cybersecurity, computer graphics, and artificial intelligence.

The objective of this article is to investigate the technological structure of the metaverse, analyse its practical applications, and evaluate its future development prospects in the field of computer science.

The term “metaverse” was first introduced by Neal Stephenson in the science fiction novel [1], where it described a virtual three-dimensional environment accessible through digital avatars. Recent academic studies define the metaverse as a persistent and interconnected network of virtual worlds that supports economic, social, and technological interactions. Researchers emphasize that the metaverse is closely connected with the evolution of Web 3.0 technologies and decentralized digital systems. According to Matthew Ball [2], the metaverse represents the next stage of internet evolution, characterized by interoperability, immersive communication, and digital economies. Modern studies also highlight the role of artificial intelligence and blockchain technologies in ensuring personalization, security, and ownership within virtual environments. Existing research identifies several critical areas related to the metaverse:

- immersive computing;
- virtual interaction systems;
- AI-driven environments;
- digital asset management;
- cybersecurity in virtual worlds.

Despite growing interest, many aspects of the metaverse remain insufficiently explored, particularly issues related to infrastructure scalability, legal regulation, and ethical concerns. This study applies a qualitative analytical methodology based on:

- analysis of scientific literature;
- comparative analysis of technological frameworks;
- systematization of current metaverse applications;
- examination of industry reports and technological platforms.

The research focuses on identifying the core technological components of the metaverse and evaluating their significance for computer science development.

Virtual reality technologies create immersive digital environments that simulate physical presence. VR systems typically include head-mounted displays, motion tracking sensors, and spatial audio systems [3, 4]. For computer science specialists, VR development involves:

- real-time rendering algorithms;
- 3D graphics optimization;
- human-computer interaction models;
- low-latency networking systems.

One of the main technical challenges is maintaining high graphical performance while minimizing latency and motion sickness effects.

Augmented reality combines physical environments with digital information layers. AR applications rely on computer vision, object recognition, and spatial mapping technologies. AR systems are widely used in [3]:

- education;
- medicine;
- industrial engineering;
- navigation systems.

The integration of AR into the metaverse enables hybrid interaction between physical and digital environments.

Artificial intelligence plays a crucial role in the operation of metaverse platforms. AI technologies support:

- intelligent virtual assistants;
- behavioural modelling of non-player characters;
- adaptive environments;
- personalized digital experiences.

Machine learning algorithms are increasingly used for analysing user behaviour and generating dynamic content within virtual spaces.

Blockchain technology provides decentralized data storage and secure transaction mechanisms. In metaverse ecosystems, blockchain supports:

- digital ownership verification;
- NFT assets;
- decentralized financial systems;
- smart contracts.

The implementation of blockchain technologies allows users to own and exchange virtual assets securely within digital economies.

Cloud technologies enable large-scale data storage and distributed computing. Metaverse environments require [5]:

- scalable server infrastructures;

- high-speed internet connectivity;
- edge computing systems;
- distributed databases.

The future development of 5G and 6G communication technologies is expected to improve the performance and accessibility of immersive digital environments.

The metaverse offers significant opportunities for digital education. Virtual classrooms and laboratories enable students to interact with complex simulations and educational models.

Research indicates that immersive learning environments can improve student engagement and knowledge retention through interactive experiences. Examples include:

- virtual laboratories;
- engineering simulations;
- medical training systems;
- collaborative educational platforms.

Many organizations are developing virtual workspaces and digital collaboration platforms. The metaverse supports: virtual meetings; digital offices; online commerce; interactive product presentations [6]. These technologies may significantly transform remote work models and international business communication.

Healthcare applications of the metaverse include: surgical simulations; rehabilitation programs; psychological therapy; medical education. Virtual environments allow healthcare professionals to practice complex procedures in risk-free conditions.

The gaming industry has become one of the primary drivers of metaverse development. Multiplayer online environments demonstrate how virtual economies and social interactions can function within immersive systems. Game engines such as Unreal Engine and Unity are widely used for metaverse development [7].

Despite its potential advantages, the metaverse presents several significant challenges. Major cybersecurity concerns include:

- identity theft;
- unauthorized access to digital assets;
- cyberattacks;
- data privacy violations.

Because metaverse environments process large volumes of personal and behavioural data, ensuring information security is critically important.

The implementation of large-scale metaverse systems requires substantial computational resources and advanced infrastructure. Current limitations include:

- high hardware costs;
- network bandwidth requirements;
- system scalability issues;
- interoperability challenges.

Researchers also identify ethical issues related to:

- digital addiction;
- social isolation;
- virtual identity manipulation;
- unequal access to technologies.

The development of legal and ethical standards for virtual environments remains an important research direction.

The metaverse is expected to become an important component of future digital infrastructure. Potential development directions include:

- AI-driven virtual ecosystems;
- decentralized digital economies;
- smart virtual cities;
- immersive educational institutions;
- advanced human-computer interaction systems.

For computer science specialists, these developments create new opportunities in:

- software engineering;
- immersive computing;
- cybersecurity;
- artificial intelligence;
- network architecture.

The emergence of new professional fields such as metaverse engineering and spatial computing demonstrates the growing importance of immersive technologies.

The metaverse represents one of the most significant technological concepts of contemporary information society. By integrating virtual reality, artificial intelligence, blockchain, and cloud computing, the metaverse creates new forms of digital interaction and communication. This study demonstrates that the metaverse has substantial potential in education, business, healthcare, and information technology. At the same time, important challenges remain in the areas of cybersecurity, infrastructure development, and ethical regulation. For computer science specialists, the metaverse constitutes a promising interdisciplinary field that requires further scientific research and technological innovation.

References

1. Stephenson, N. (1992) *Snow Crash*. New York: Bantam Books.
2. Ball, M. (2022) *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything*. Liveright Publishing.
3. Evans, L. (2019) *Augmented Reality and Virtual Reality*. Springer.
4. Dionisio, J., Burns, W., Gilbert, R. (2013) *3D Virtual Worlds and the Metaverse*, ACM Computing Surveys.
5. Materials from Meta regarding metaverse technologies.
6. Materials from Microsoft on mixed reality and cloud infrastructure.
7. Materials from NVIDIA Omniverse regarding virtual simulation platforms.

Ulugbek TURAPOV

PhD, associate professor

(orcid.org/0000-0001-7274-4162)

Tashkent State Agrarian University

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Musambek AKYLBAEV

PhD, Professor

(orcid.org/0000-0003-1383-4592)

University of Friendship of Peoples, Academician A. Kautbekova,

Shymkent, Republic of Kazakhstan

Sholpan ZHANTAIEVA

Senior Lecturer

University of Friendship of Peoples, Academician A. Kautbekova,

Shymkent, Republic of Kazakhstan

Gul'nar MADALIEVA

Senior Lecturer

University of Friendship of Peoples, Academician A. Kautbekova,

Shymkent, Republic of Kazakhstan

CREATION OF A ROBOTIC EYE ANALYZER AS A RESULT OF THE INTEGRATION OF CORRELATION COEFFICIENT METHODS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FACE RECOGNITION

Currently, as a result of the rapid development of information technologies, the demand for automated systems for identifying and

recognizing people is sharply increasing. In particular, personal identification technologies are widely used in security systems, video surveillance, biometric identification, banking systems, and border control. The effectiveness of such systems is closely related to the correct analysis of data obtained from images and making accurate decisions based on them. This article analyzes the principles of the correlation coefficient and the cooperation of artificial intelligence technologies in identifying the desired person, their advantages, and prospects for application.

It is known that a personal identification system is an automated system that identifies a person based on their biometric characteristics. Such systems use the following biometric data:

- facial image;
- fingerprint;
- iris;
- voice;
- gait.

Today, facial recognition technology is widely used. Since a person's image can be obtained remotely with a camera, this method provides the user with convenient capabilities: 1. Obtaining the image; 2. Statistical processing of the image; 3. Selecting criteria for feature extraction; 4. Comparing the person being searched for with the database (DB); 5. Analyzing the principles of technology interaction during comparison with the artificial intelligence database, their advantages, and application prospects; 6. Making decisions.

The developed software consists of software modules that sequentially work with video technologies and manage various tasks. All modules are controlled by the main module. The main parts of the software include:

- transforming the obtained data into a matrix form and performing statistical processing and identification processes on the matrix;
- implementing the selection of criteria for forming a set of informative features when identifying and recognizing the required image from the database;
- organizing the selection of local criteria for identifying and recognizing images;
- analyzing and practically implementing the obtained results.

Currently, fingerprint search is considered a relatively outdated method. Modern computer technologies allow the use of more effective identification methods based on the analysis of human ear and eye features, which are unique to each person. The basic algorithm of the comparison process is mainly implemented in two ways:

1. Improving the efficiency of mutual comparison of two images and determining the probability of their similarity, selecting criteria, developing a functional scheme of the algorithm and software (see Figure 1).

2. Developing a flowchart of the algorithm for comparing one hundred images obtained using a software suite and video technologies with existing images in the database using the correlation coefficient as the recognition criterion (see Figure 2).

Mathematical statistical methods and artificial intelligence algorithms play an important role in these processes. Correlation is a mathematical measure that expresses the degree of relationship between two variables. In image processing, the correlation method is used to determine the similarity between two images. In turn, face images, scaled to such precision, can be slightly displaced relative to each other. Such errors reduce the recognition accuracy when comparing two images, which gives rise to the task of minimizing these errors.

Let us assume that sets of real numbers are given $X = \{x_{ij}\}_{i=1}^N$ и $Y = \{y_{ij}\}_{i=1}^N$ ($i = \overline{1, N}$). Let's determine the mathematical expectation for these sets:

$$MX = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad MY = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

Then we will form new sets X and Y with zero expected value:

$$\overline{X}_i = (x_i - MX) \quad \overline{Y}_i = (y_i - MY) \quad (1)$$

The discrete formula for the correlation coefficient for data sets has the following form:

$$Cor_{vec} = \frac{\sum_{i=1}^N \overline{X}_i \cdot \overline{Y}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \overline{X}_i^2 \cdot \overline{Y}_i^2}} \quad (2)$$

If the array consists of elements of matrices of $\{A_{ij}\}_{m \times n}$ the form and $\{B_{ij}\}_{m \times n}$, then the correlation coefficient is calculated as follows:

$$Cor_{mat} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \overline{A}_{ij} \cdot \overline{B}_{ij}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \overline{A}_{ij}^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \overline{B}_{ij}^2 \right)}} \quad (3)$$

where $\overline{A_{ij}} = \left\{ (A_{ij} - MA) \right\}_{\substack{i=1, \overline{M} \\ j=1, \overline{N}}}$, $\overline{B_{ij}} = \left\{ (B_{ij} - MB) \right\}_{\substack{i=1, \overline{M} \\ j=1, \overline{N}}}$,

$$MA = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}, \quad MB = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij},$$

Using the above formulas, an algorithm and an application program are developed to calculate correlation coefficients, that is, coefficients of matrix similarity (by rows, columns, and the entire matrix as a whole). Calculations are also performed in cases where matrices are shifted by several pixels, with the maximum coefficient values selected. It should be noted that the source data is represented as two-dimensional arrays—matrices in which human face images are displayed in digital pixels.

In facial recognition systems, this method is used to determine the similarity between a reference image and the observed image. If the correlation value is high, the system considers that the person matches the person in the database.

The main advantages of the correlation method are:

- high calculation speed;
- simple software implementation;
- the ability to operate in real time.

Disadvantages:

- sensitivity to changes in lighting;
- reduced accuracy during rotation and noise;
- decreased efficiency when working with large databases.

The main advantages of the correlation method:

- high calculation speed;
 - simple software implementation;
 - capability to operate in real time.
- Disadvantages:
- sensitivity to changes in lighting;
 - reduced accuracy with rotation and noise;
 - decreased efficiency when working with large databases.

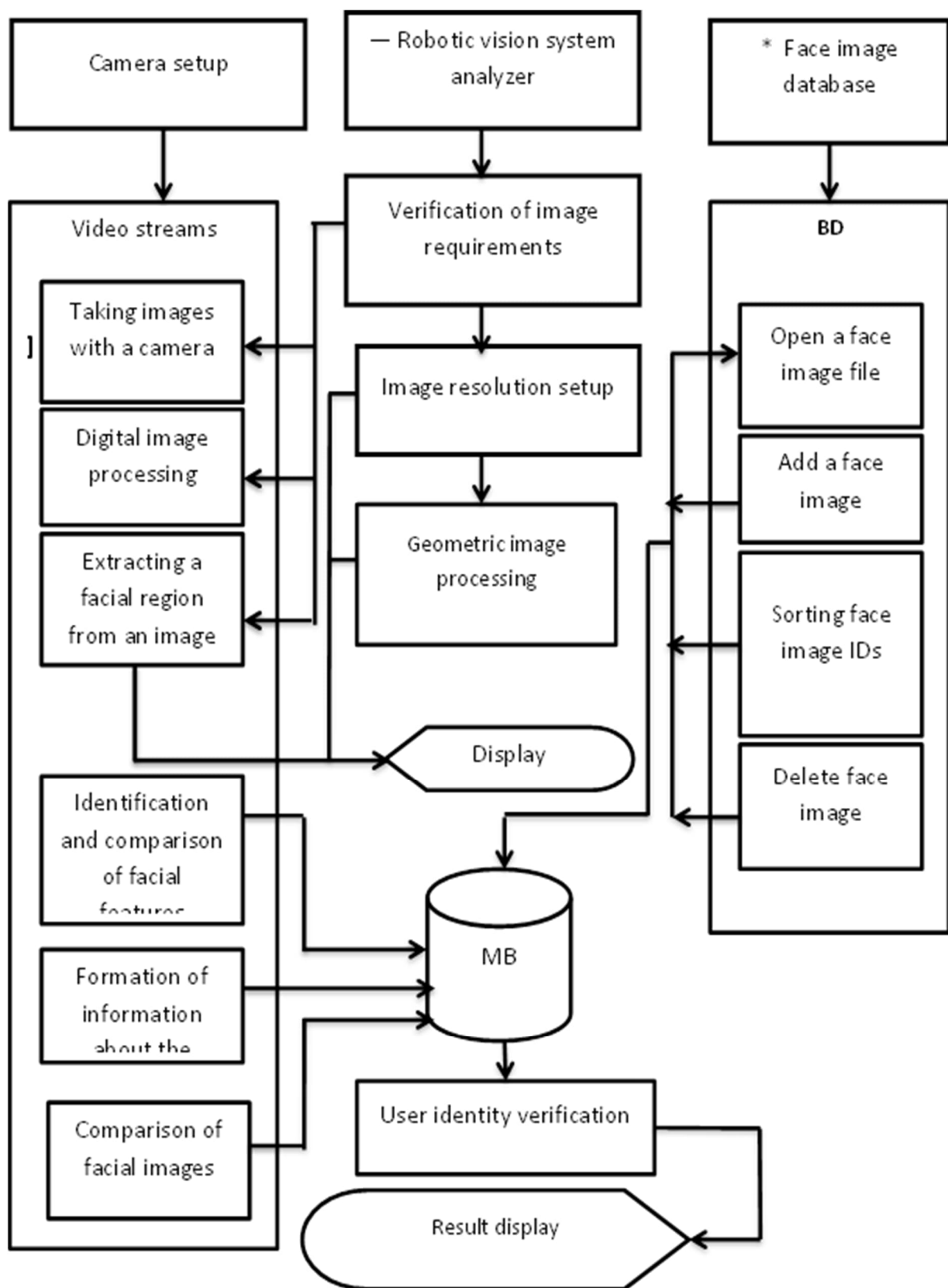


Fig. 1. Functional diagram of the software structure

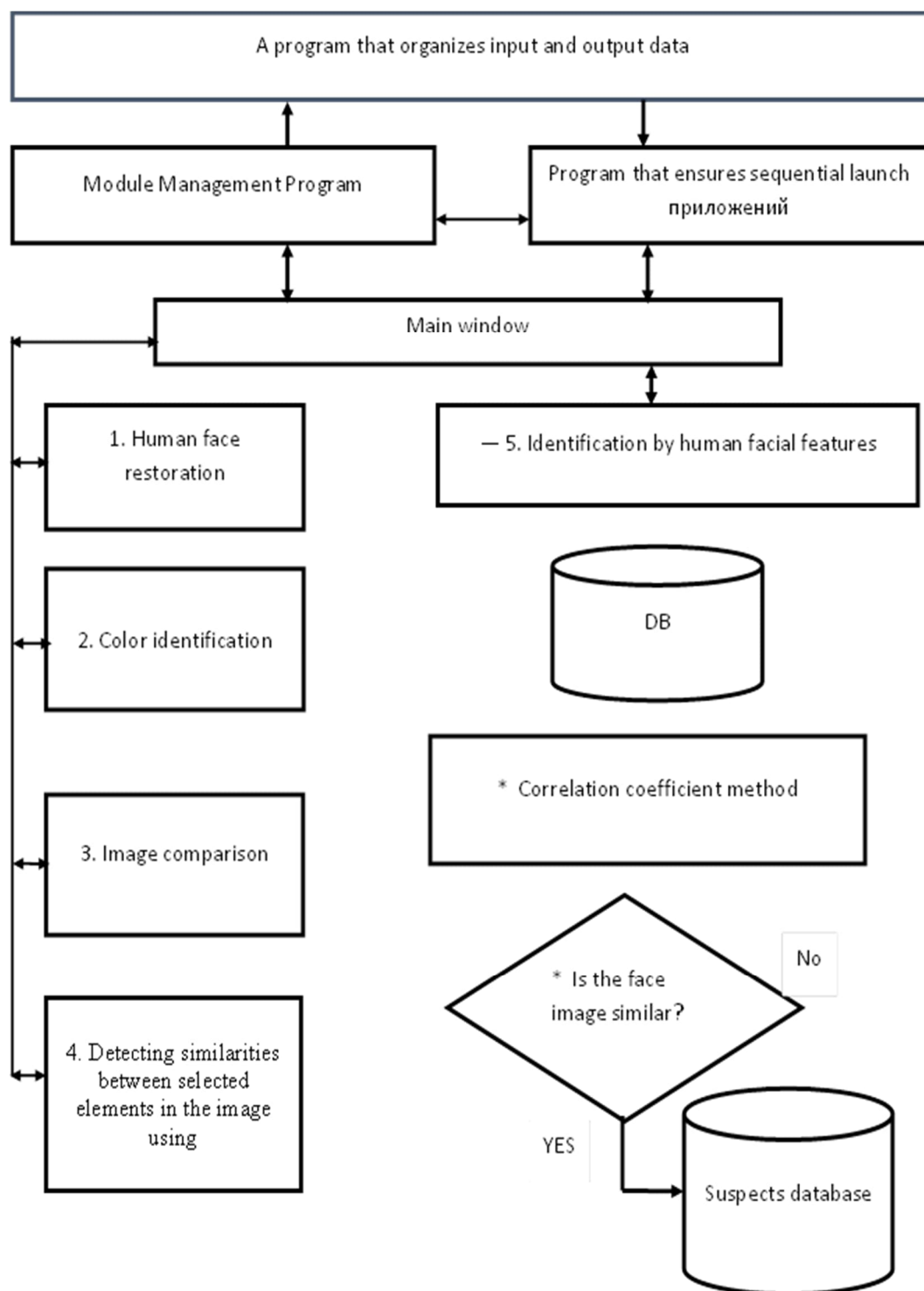


Fig. 2. Block diagram of image identification software

Therefore, in modern systems, the correlation method is used in combination with artificial intelligence technologies. Artificial intelligence is a set of algorithms and software systems that perform tasks inherent to human thinking. Machine learning and deep learning methods are mainly used for face recognition. The most popular artificial intelligence methods are:

- neural networks;
- convolutional neural networks (CNN);
- deep learning; • support vector method (SVM);
- k-nearest neighbors method (KNN).

Convolutional neural networks are very effective in image analysis. CNN automatically identifies the following features of the human face:

- distance between the eyes;
- shape of the nose;
- contour of the face;
- structure of the lips.

The CNN model processes the image in several layers and extracts important features. As a result, the system can recognize a person with high accuracy even under varying conditions. Advantages of artificial intelligence:

- can analyze complex images;
- has the ability to self-learn;
- provides high accuracy;
- can work with large databases.

Disadvantages:

- requires significant computational resources;
- training process is lengthy;
- requires a large amount of data.

In modern biometric systems, the combination of the correlation method and artificial intelligence algorithms ensures high efficiency. This integration is carried out in the following stages: 1. Preprocessing of images; 2. Initial filtering based on correlation; 3. Deep analysis using artificial intelligence; 4. Final identification.

In this case, the correlation method acts as a quick sort. That is, the most similar images are extracted from a large database. At the next stage, artificial intelligence deeply analyzes these images and provides an accurate result. The working model of the integrated system looks as follows:

- the image of a person is captured by a camera;
- the image is normalized;
- the correlation algorithm finds similar images;
- the CNN model analyzes facial features;
- the system makes a final decision.

This approach provides the following advantages:

- increased search speed;
- reduced number of false positives;
- improved real-time performance;
- enhanced security.

Today, these technologies are used in airports, banks, government organizations, and smart city systems. The integration of correlation coefficient methods and artificial intelligence in the identification of a wanted person is one of the most effective approaches in modern biometric systems. While the correlation method allows for quickly detecting similarities between images, artificial intelligence provides in-depth analysis of complex features. As a result of combining these technologies, the accuracy, speed, and reliability of systems are significantly increased. Such an integrated approach is especially important in security and video surveillance systems. In the future, with the development of artificial intelligence algorithms, identity recognition systems will become more advanced and will be widely used in various areas of human life.

References

1. V. Govindaraju, «Determining the Location of Human Faces in Photographs,» International Journal of Computer Vision, vol. 19, no. 2, pp. 129–146, 1996.
2. Y. J. Zhang, Y. R. Yao, and Y. He, «Automatic Face Segmentation Using Color Cues for Coding Typical Videophone Scenes,» in Proc. SPIE Visual Commun. And Image Processing, San Jose, California, February 1997, vol. 3024, pp. 448–479.
3. D. Chai and K. N. Ngan, «Face Segmentation Using Skin Color Map in Videophone Applications,» in Proc. IEEE Trans. On Circuits and Systems For Video Techn, Hong Kong, June 1999, vol. 9, no. 4, pp. 1448–1451.
4. A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, «Neural network-based face detection,» IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 20, pp. 23-38, January 1998.
5. J. Maid and R. Lienhart, «Face detection using support vector machines and a very large set of Haar features,» IEEE ICME 2002, Lausanne, Switzerland, August 2002.
6. Turapov U.U., Muldhanov F.R., Mallaev O.U. Software and hardware for creating a robotic eye analysis system. // Scientific and Practical Journal «Scientific Progress» No. 6 (June) 2017, UFA. ISSN 2542-0984. pp. 21–25.
7. Turapov U.U., Nurdzhanov F.R. Mathematical support and software for the desired process of object recognition by key features. // Journal «Higher School.» UFA. Release date – June 15, 2016. ISSN 24-1677. pp. 90–92.

8. Turapov U.U., Nurdzhanov F.R. Creation of principles for classifying input parameters by classes in a complex process. // Problems of Information and Telecommunication Technologies: Scientific and Technical Conference. Part 2. March 12-13, 2015 – Tashkent, 2015. – P. 179–181.
9. Mukhitdinov G.A., Turapov U.U., Mallaev O.U., Nurdzhanov F.R. Identification of object images – US. // Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan Registration number of the application No. DGU 03428. Date of r10. Turapov U.U., Mallaev O.U. Creation of a computer mathematical model of the process of identifying a wanted person from a database using symbols. Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan // Tashkent University of Information Technologies. Problems of Information and Technology. Republican Scientific and Technical Conference. March 10–11, 2016, pp. 289–291.
10. Turapov U.U., Akylbaev M.I., Zhantaeva Sh.K. Methods for determining the informational characteristics of human face images. Bosma Science and Technology in the Modern World, 5(5), Published: February 19, 2026, pp. 60–63. receipt of documents – 17.05.2015.

Тетяна ТОМАШЕВСЬКА

кандидат технічних наук, доцент

(<http://orcid.org/0000-0001-5001-9226>)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ ТА КВАНТОВИХ ЯДЕРНИХ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ШАХРАЙСТВА

Шахрайство у фінансових транзакціях є однією з головних загроз для банківських установ, платіжних систем та електронної комерції. Зростання обсягів онлайн-платежів і впровадження нових цифрових технологій створюють як нові можливості для користувачів, так і нові вектори атак для шахраїв.

Традиційні методи виявлення шахрайства, які базуються на підходах таких як дерево рішень, метод опорних векторів, нейронні

мережі, достатньо давно використовуються в банківських системах і демонструють хороші результати [2]. Але злочинці винаходять нові способи приховування своєї діяльності, мімікуючи під реальні «хороші» транзакції за рахунок складних та заплутаних алгоритмів. Тому сучасні дослідження направлені на пошук методів, які можуть забезпечувати виявлення транзакцій, які намагаються приховати свою природу.

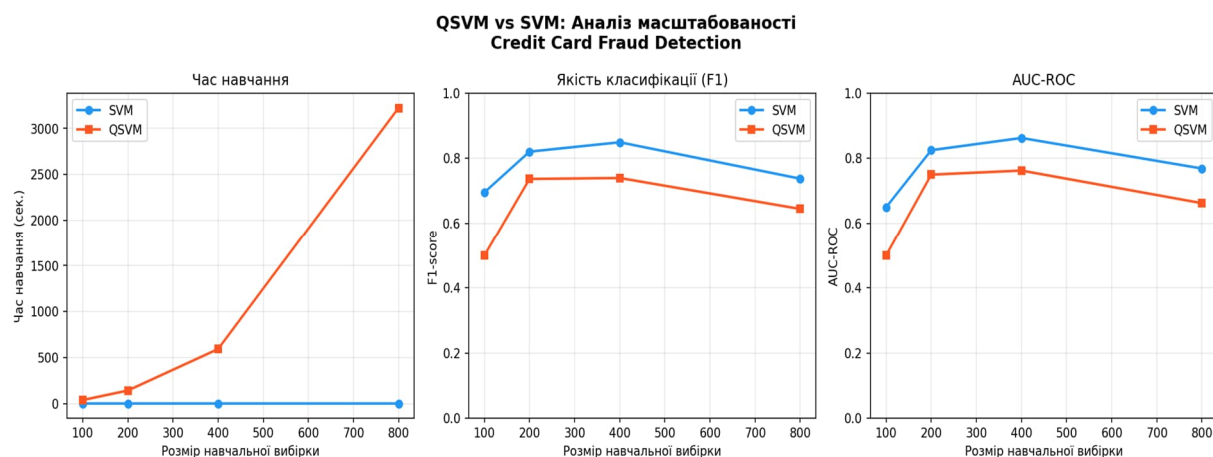
Поява квантових алгоритмів машинного навчання викликала інтерес у дослідників, оскільки заплутаність квантових алгоритмів могла дозволити виявити спеціально приховані аномальні дані. Однак, проблемою квантових алгоритмів наразі є складність отримання доступу до квантового апаратного забезпечення. Тому важливим є дослідження можливостей квантових алгоритмів в режимі емуляції на комп'ютерах класичної архітектури.

В дослідженні розглядались питання можливості застосування алгоритмів квантового машинного навчання для задачі виявлення шахрайства в багатовимірних наборах даних. Для порівняльного аналізу використовувались два алгоритми: класичний метод опорних векторів SVM та квантовий метод опорних векторів QSVM [1, 4]. Аналіз здійснювався на наборі даних про транзакції європейських власників карток за вересень 2013 року (Credit Card Fraud Detection). Датасет є сильно незбалансованим, оскільки містить всього лише 0,17% шахрайських транзакцій з 284807 транзакцій. Він є багатовимірним набором, в якому ознаки V1–V28 – результат PCA-перетворення для забезпечення конфіденційності [3].

Стратегія експерименту була наступна. На основі даного датасету будувалася за допомогою випадкової вибірки збалансована навчальна вибірка обсягом від 100 до 800 екземплярів з кроком 100, для якої розв'язувалась задача класифікації.

Результати експерименту на тестових даних, які складали 20% від навчальної вибірки, наведені на рис. 1.

Результат експерименту показав, що класичний SVM перевищує квантовий алгоритм за метрикою F1-score (0.738-0.849) та AUC (0.769-0.862) на всіх етапах експерименту. Квантовий аналог на першому етапі продемонстрував випадкове вгадування через брак даних для налаштування квантового ядра, але на наступних етапах якість підвищилась, залишаючись на нижчому рівні (F1=0.74, AUC=0.76).



*Рис.1. Результати порівняльного дослідження
алгоритмів SVM та QSVM*

Результати роботи обох алгоритмів на найбільшій вибірці наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз результатів роботи класичного та квантового алгоритмів SVM

	precision	recall	f1-score	support
Алгоритм SVM (RBF)				
Normal	0.72	0.89	0.79	80
Fraud	0.85	0.65	0.74	80
accuracy			0.77	160
macro avg	0.78	0.77	0.77	160
weighted avg	0.78	0.77	0.77	160
Алгоритм QSVM (ZZFeatureMap, 2 qubits)				
Normal	0.65	0.71	0.68	80
Fraud	0.68	0.61	0.64	80
accuracy			0.66	160
macro avg	0.66	0.66	0.66	160
weighted avg	0.66	0.66	0.66	160

Проведений експеримент показав, що часова складність квантового алгоритму експоненційно зростає при розрахунку квантової матриці ядер на класичному процесорі, що підтверджується при застосуванні квантового алгоритму на навчальних вибірках розміром від 300 екземплярів.

Поточні стандартні схеми квантового кодування (наприклад, ZZFeatureMap) без додаткової оптимізації параметрів поступаються класичним RBF-ядрам на сильно зрізаних табличних даних. Симуляція квантових обчислень для реальних задач аналізу наборів даних великої розмірності зустрічається з серйозними часовими обмеженнями, що робить QSVM непридатним для систем, які працюють у реальному часі.

Перспективними напрямками дослідження є побудова гібридних алгоритмів, в яких класичний підхід використовується в якості грубого фільтра, який відсікає до 90% «хороших» транзакцій. На другому етапі суб-вибірка з найбільш аномальних та складнокласифікованих об'єктів аналізується квантовим класифікатором QSVM. Такий підхід дозволить вирішити проблему обчислювального колапсу квантових ядерних методів на великих масивах даних, оскільки вони будуть працювати на малих вибірках, де обчислювальна складність $O(N^2)$ має менше значення. В той же час, запропонований підхід дозволить потенційно використати квантове заплутування для виявлення складних прихованих патернів шахрайства, які недоступні класичним RBF-ядрам.

Список використаних джерел

1. Havlíček, V., Córcoles, A. D., Temme, K., Harrow, A. W., Kandala, A., Chow, J. M., & Gambetta, J. M. (2019). Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces. *Nature*, 567(7747), 209–212. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0980-2>
2. Lampropoulos, S. D., Tanasas, G. L., & Kontogeorga, G. N. (2025). Виявлення шахрайства в банківських транзакціях з використанням штучного інтелекту та анонімізованих даних. *Журнал європейської економіки*, 24(4), 677–698. <https://jeej.wunu.edu.ua/index.php/ukjee/article/view/1904>
3. MLG-ULB. (n.d.). *Credit card fraud detection* [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/mlg-ulb/creditcardfraud>
4. Yin, T. (2024). Quantum support vector machines: Theory and applications. *Theoretical and Natural Science*, 51, 34–42. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/51/2024CH0158>

Андрій ТУЖИКОВ

аспірант

(orcid.org/0009-0005-3853-9911)

Південноукраїнський національний педагогічний університет

імені К. Д. Ушинського

м. Одеса, Україна

Володимир СОЛОВЙОВ

доктор фізико-математичних наук, професор

(orcid.org/0000-0002-4945-202X)

Південноукраїнський національний педагогічний університет

імені К. Д. Ушинського

м. Одеса, Україна

Арнольд КІВ

доктор фізико-математичних наук, професор

(orcid.org/0000-0002-0991-2343)

Південноукраїнський національний педагогічний університет

імені К. Д. Ушинського

м. Одеса, Україна

Негевський університет Бен-Гуріона, м. Беер-Шева, Ізраїль

МАШИННО-НАВЧЕНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ СКРИНІНГУ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ ГРАФЕНОВИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК

Властивості графенових квантових точок (ГКТ) – нанофрагментів графену розміром у кілька нанометрів, що поєднують ароматичність графену з квантовим обмеженням, – великою мірою задаються хімією їхнього краю. Крайова функціоналізація є робочим інструментом налаштування ГКТ під конкретне застосування. Карбоксильні (–COOH) та гідроксильні (–OH) групи підвищують гідрофільність і дають точки прищеплення біомолекул, тому функціоналізовані ГКТ використовують як флуоресцентні мітки в біовізуалізації та сенсорикі й як носії в адресній доставці ліків. Аміногрупи (–NH₂) є електронодонорними, зміщують поверхневий заряд і рівні HOMO–LUMO, що корисно для хемо- та біосенсорів. Кисневі групи на краю та базальній площині (–COOH, –OH, епоксидний місток –O–) покращують змочуваність і створюють центри закріплення активних частинок в електродах літій- та натрій-іонних акумуляторів і суперконденсаторів, а також в електрокаталізі реакції відновлення кисню [1]. Оскільки на одному краю зазвичай співіснує кілька типів груп, при дизайні ГКТ корисно наперед знати, які схеми декорування взагалі є

термодинамічно реалістичними. Прямий спосіб це з'ясувати – обчислити енергію формування методом теорії функціонала густини (DFT), але він стає непомірно дорогим, щойно треба перебрати десятки позицій і поєднань груп.

Тут у пригоді стають універсальні машинно-навчені міжатомні потенціали (MLIP). Навчені на великих масивах першопринципних розрахунків, вони відтворюють енергії та сили з близькою до DFT якістю, але на порядки швидше [2]. Ми беремо потенціал SevenNet як сурогат поверхні потенціальної енергії й будуємо навколо нього автоматичний конвеєр оцінювання функціоналізації [3].

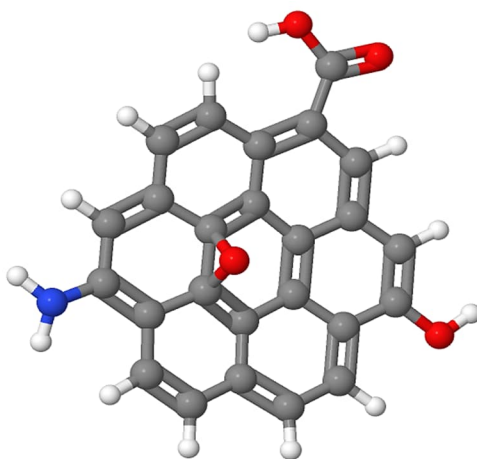


Рис. 1. Гексагональна ГКТ із кількома крайовими групами: $-\text{COOH}$ (угорі), $-\text{OH}$ (праворуч), $-\text{NH}_2$ (ліворуч) та епоксидний місток $-\text{O}-$ (у центрі).
Сірі – C, червоні – O, синій – N, білі – H.

На вхід конвеєр отримує лише пару структур – чисту ГКТ та її функціоналізований аналог; решту він визначає з самих структур (рис. 1). Для перевірки ми свідомо взяли непростий випадок: гексагональну ГКТ, на краю якої одночасно розміщено карбоксильну, гідроксильну, аміногрупу та епоксидний місток.

Обидві структури релаксуються алгоритмом BFGS, після чого енергію формування знаходять як різницю повних енергій із поправкою на змінений склад (1):

$$\Delta E_f = E_{f_{unc}} - E_0 - \sum_i \Delta n_i \mu_i \quad (1)$$

Підсумовування тут іде за всіма елементами, кількість яких відрізняється між двома структурами, а μ_i – хімічний потенціал відповідного резервуару, обчислений тим самим калькулятором [4]. Такий

запис навмисно не питає, «яка група приєдналася»: якщо крайовий зв'язок C–H розривається, а сама група приносить власні атоми водню, доданок $-\Delta nH \cdot \mu H$ з'являється автоматично. Завдяки цьому той самий код опрацьовує і –ОН, і –СООН, і їхні довільні поєднання без жодних спеціальних правил, перераховуючи лише ті потенціали, елементи яких справді змінилися, і релаксуючи спільну вихідну структуру один раз на цілу серію порівнянь.

Для описаної мультифункціоналізованої точки конвеєр дає від'ємну енергію формування – крайове декорування виявляється екзотермічним, що цілком очікувано для окисно-азотних груп на краю ГКТ. Цінніше, однак, інше: разом з енергією конвеєр повертає й топологічний «портрет» релаксованої структури. Аналіз вуглецевого каркаса виявляє самі лише шестичленні кільця, тобто групи осідають на периферії, не руйнуючи ароматичне ядро. Саме таку ознаку – чи вціліла цілісність каркаса – зручно використовувати як швидкий фільтр при відборі кандидатів.

Заміна DFT сурогатною моделлю скорочує одну оцінку з годин до секунд, і суцільний перебір позицій та поєднань груп стає здійсненним; відібрані кандидати згодом можна уточнити повноцінним DFT [5]. Наведений приклад показує, що навіть «з коробки» універсальний MLIP цілком придатний для попереднього скринінгу функціоналізації ГКТ.

Список використаних джерел

1. Geng, Z. L., et al. (2026). Recent advances on graphene quantum dots and their derivatives for energy storage devices. *International Journal of Extreme Manufacturing*, 8, 022005. <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ae2221>
2. Park, Y., Kim, J., Hwang, S., & Han, S. (2024). Scalable parallel algorithm for graph neural network interatomic potentials in molecular dynamics simulations. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 20(11), 4857–4868. <https://doi.org/10.1021/acs.jctc.4c00190>
3. Kiv, A., Soloviev, V., Tuzhykov, A., Kavetsky, T., Hoivanovych, N., Šauša, O., Rusnák, J., Švajdlenková, H., Ostrauskaite, J., Bielinskyi, A., & Slusarenko, M. (2025). Machine learning interatomic potentials and orientational defects in polymers. *NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics*, 91–104.

4. Larsen, A. H., et al. (2017). The atomic simulation environment – a Python library for working with atoms. Journal of Physics: Condensed Matter, 29(27), 273002. <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa680e>
5. Deng, B., et al. (2025). Systematic softening in universal machine learning interatomic potentials. npj Computational Materials, 11, 9. <https://doi.org/10.1038/s41524-024-01500-6>

Анастасія ДЗЕНДЗЕЛІВСЬКА

студентка

(orcid.org/0009-0005-1896-9033)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Тетяна ФІЛІМОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент

(orcid.org/0000-0001-9467-0141)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОГО ПІДБОРУ СПІВРОБІТНИКІВ ЗГІДНО ІЗ ЗАПИТАМИ РОБОТОДАВЦІВ

Сучасний ринок праці вирізняється зростаючою складністю та динамічністю: підприємства щоденно отримують сотні заявок від претендентів, а ручна обробка резюме бере в середньому 42 дні на одну вакансію та коштує понад 4 100 доларів США. Традиційні методи рекрутингу страждають від суб'єктивності оцінок, що тягне за собою помилки підбору у переважній більшості організацій. Машинне навчання та алгоритмічні підходи відкривають нові перспективи для автоматизації скринінгу кандидатів: автоматизовані системи спроможні зменшити час обробки резюме на 75% та підсилити якість відбору на 20% [1, 2].

Завданням дослідження є створення надійного алгоритму автоматичного вибору співробітників на основі багатокритеріальної оцінки профілів претендентів згідно до вимог роботодавця та його програмна імплементація з подальшою емпіричною перевіркою.

Критерії зіставлення кандидата та вакансії поділяються на обов'язкові (мінімальна освіта, необхідна кваліфікація, досвід роботи) та бажані (додаткові навички, мовні компетенції, особисті якості).

Профіль кандидата формалізується у вигляді вектора характеристик $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$, де кожна компонента c_i відповідає кількісному значенню i -ї характеристики. Аналогічно вимоги вакансії представлені вектором $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$. Загальна оцінка сумісності обчислюється за формулою (1):

$$S(C, V) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f(c_i, v_i), \quad (1)$$

де w_i – вага критерію i ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$), $f(c_i, v_i)$ – локальна функція сумісності для i -го критерію.

Обов'язкові критерії реалізовані як жорсткі обмеження через мультиплікативний фільтр $M(C, V)$: якщо кандидат не відповідає хоча б одній обов'язковій вимозі, фінальна оцінка

$S_{final}(C, V) = M(C, V) \cdot S(C, V)$ дорівнює нулю (2):

$$S_{final}(C, V) = M(C, V) \cdot S(C, V). \quad (2)$$

Для текстових представлень профілів використовується косинусна подібність (3):

$$\cos(\theta) = \frac{C \cdot V}{|C| \cdot |V|}. \quad (3)$$

Розроблений алгоритм автоматичного ранжування та відбору кандидатів складається з п'яти послідовних етапів:

- нормалізація та стандартизація вхідних векторів ознак кандидатів і вакансій;
- скринінг обов'язкових критеріїв – виключення кандидатів, що не відповідають жорстким вимогам;
- обчислення зважених оцінок сумісності для решти кандидатів;
- масштабування балів та ранжування у порядку спадання;
- формування короткого списку за порогом або фіксованою кількістю найкращих кандидатів.

Алгоритмічна складність – $O(n \cdot m)$, де n – кількість кандидатів, m – кількість критеріїв. Обов'язковий скринінг на другому кроці суттєво зменшує ефективне значення n на практиці.

Програмна реалізація виконана у середовищі Google Colaboratory з використанням бібліотек Python: Pandas, Scikit-learn, PyTorch та Imbalanced-learn. Вхідним набором є датасет ai_resume_screening.csv, що містить 30 000 синтетичних записів резюме з 7 атрибутами [3] (табл. 1).

Атрибути набору даних

Атрибут	Тип	Опис	Діапазон значень
years_experience	Числовий	Роки досвіду роботи	0–15
skills_match_score	Числовий	Відсоток відповідності навичок	0.5–100.0
education_level	Категор.	Рівень освіти (Bachelor/Master/PhD/Other)	4 категорії
project_count	Числовий	Кількість завершених проектів	0–25
resume_length	Числовий	Довжина резюме (слів)	150–900
github_activity	Числовий	Активність на GitHub (коміти/рік)	0–842
shortlisted	Бінарний	Фінальний результат скринінгу	Yes / No

Перевірка цілісності даних підтвердила відсутність пропущених значень та дублікатів. Аналіз цільової змінної виявив значний дисбаланс класів: клас ‘shortlisted’ переважав клас ‘not shortlisted’. Для виправлення дисбалансу застосовано метод SMOTEENN – поєднання синтетичної генерації прикладів меншого класу (SMOTE) з очищенням межі ухвалення рішень (ENN). Після балансування отримано 17 994 записів класу ‘No’ та 17 046 – класу ‘Yes’ (співвідношення $\approx 51:49$). Числові ознаки стандартизовано (StandardScaler), категоріальна ознака education_level закодована методом one-hot encoding. Дані розподілено у пропорції 80:20 (навчальна – 24 000, тестова – 6 000 записів). Кореляційний аналіз числових атрибутів не виявив мультиколінеарності між змінними, що підтверджує їх інформаційну незалежність та взаємодоповнюючий вплив на класифікаційне рішення.

Досліджено три моделі класифікації. Random Forest реалізовано засобами RandomForestClassifier із пошуком оптимальних гіперпараметрів через GridSearchCV (3-кратна крос-валідація): `n_estimators = {50, 100, 200}`, `max_depth = {None, 10, 20, 30}`, `max_features = {'sqrt', 'log2', None}`, `min_samples_split = {2, 5, 10}`. Gradient Boosting реалізовано через GradientBoostingClassifier – ітеративний ансамбль, де кожне наступне дерево мінімізує залишкову похибку попереднього. Нейронна мережа ResumeNN (PyTorch) має три повністю зв’язані шари (256, 128 і 2 нейрони) з пакетною нормалізацією (BatchNorm1d), функцією активації ReLU та регуляризацією Dropout ($p = 0.2$). Навчання проводилось протягом 200 епох з оптимізатором SGD

(lr = 0.01) та механізмом ранньої зупинки (patience = 20 epoch). Порівняльні результати тестування на відкладеній вибірці з 6 000 записів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати моделей на тестовій вибірці

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Random Forest (базова)	90.02%	92.38%	93.33%	92.85%
Random Forest (оптимізована)	90.12%	92.23%	93.67%	92.94%
Gradient Boosting	90.68%	92.69%	94.00%	93.34%
ResumeNN (нейронна мережа)	87.23%	—	—	—

Gradient Boosting показав найкращі результати за всіма показниками: точність 90.68%, F1-міра 93.34%, прецизійність 92.69%, повнота 94.00%. Оптимізований Random Forest поступається лише незначно (Accuracy 90.12%, F1 92.94%), тоді як нейронна мережа ResumeNN відстає на 2.5–3.5 в.п. від ансамблевих методів – типова картина для табличних даних обмеженого обсягу [4]. Обидві ансамблеві моделі демонструють вищу якість класифікації для класу ‘shortlisted’ (precision ≥ 0.92 , recall ≥ 0.93), що є бажаним для скринінгу – хибне виключення придатного кандидата є критичнішою помилкою, ніж хибне включення.

Розроблений алгоритм автоматичного підбору співробітників забезпечує якість класифікації, порівнянну з провідними дослідженнями у галузі (точність 85-92%). Практична цінність роботи полягає у можливості суттєво скоротити часові та фінансові витрати на рекрутинг при збереженні або підвищенні якості відбору. Система придатна для впровадження в реальних HR-процесах організацій різних масштабів. Перспективами розвитку є інтеграція семантичного аналізу тексту резюме на базі трансформерних моделей (BERT), розширення ознакового простору географічними та соціальними даними, а також адаптація до умов потокової обробки заявок.

Список використаних джерел

1. Society for Human Resource Management. (2022). *SHRM human capital benchmarking report*. <https://www.shrm.org/content/dam/en/shrm/research/benchmarking/Human%20Capital%20Report-TOTAL.pdf>

2. Bhardwaj, R., & Singh, P. (2024). From recruitment to retention: AI tools for human resource decision-making. *Applied Sciences*, 14(24), 11750. <https://doi.org/10.3390/app142411750>
3. Shinde, S. (n.d.). *AI-driven resume screening dataset* [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/sonalshinde123/ai-driven-resume-screening-dataset>
4. Grinsztajn, L., Oyallon, E., & Varoquaux, G. (2022). Why do tree-based models still outperform deep learning on tabular data? ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2207.08815>

Дмитро БОНДАРЕНКО

аспірант

(orcid.org/0009-0002-1332-3346)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Олександр ХАРЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент

(orcid.org/0000-0002-9255-9287)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

ІНТЕГРОВАНІЙ МОДУЛЬ ПОЯСНЮВАНOSTІ Й КОНТРОЛЮ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ

Інтеграція генеративних мовних моделей у практику здобувачів вищої освіти змінила контекст автоматизованого оцінювання. Сучасні інтелектуальні системи на основі трансформерних архітектур здатні аналізувати розгорнуті відповіді з якістю, що наближається до експертної, проте широке використання інструментів на кшталт ChatGPT, Claude, Gemini та інших створює нові ризики щодо коректності інтерпретації результатів навчання. Додатковою проблемою є непрозорість таких систем: відсутність зрозумілих пояснень знижує довіру з боку викладачів і здобувачів освіти та ускладнює апеляцію. Метою дослідження є розробка інтегрованого модуля інтелектуально-інформаційної системи оцінювання компетентностей здобувачів освіти, що одночасно реалізує функції генерації пояснень оцінки та виявлення штучно згенерованого контенту в межах єдиної архітектури.

У сучасних дослідженнях пояснюваний штучний інтелект (Explainable Artificial Intelligence, XAI) та виявлення ШІ-генерованого контенту розвиваються як два окремі напрями. Для застосування XAI в освіті запропоновано спеціалізовані фреймворки [2; 8], при цьому у наявних реалізаціях домінують методи типу SHAP та LIME [7; 9]. Паралельно розвивається напрям виявлення ШІ-генерованого тексту: незалежне тестування 14 детекторів засвідчило, що жоден із протестованих інструментів не досяг рівня точності 80%, причому всі демонстрували систематичне зміщення в бік класифікації ШІ-тексту як написаного людиною та значне зниження ефективності при машинному перекладі або парафразуванні [10]. Сучасні підходи базуються на аналізі статистичних властивостей розподілу ймовірностей токенів, серед яких показовою є кривизна логарифмічної ймовірності в околі вхідного тексту [5]. Спільним недоліком наявних рішень є їх ізолюваність: системи XAI не враховують ризик ШІ-генерації при формуванні пояснення, а детектори не пов'язані з функцією зворотного зв'язку щодо рівня сформованості компетентностей. Найближчий концептуальний аналог [4] поєднує оцінювання з поясненнями на основі великих мовних моделей, проте без модуля контролю доброчесності та без узгодження з моделлю компетентностей. Отже, наявні підходи не забезпечують єдиного механізму, у якому пояснення результату оцінювання, оцінка рівня сформованості компетентностей та сигнали потенційної ШІ-генерації розглядалися б як взаємопов'язані компоненти одного рішення. У межах запропонованої архітектури такий компонент позначено як модуль M_e – модуль пояснюваності та контролю академічної доброчесності. Порівняльне позиціонування підходів узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння підходів до пояснюваності та контролю академічної доброчесності в системах автоматизованого оцінювання

Властивість	XAI-системи	Детектори ШІ-тексту	Запропонований модуль M_e
Генерація пояснень оцінювання	+	–	+
Виявлення ШІ-генерації	–	+	+
Інтеграція пояснення та контролю ШІ-генерації	–	–	+
Узгодження з моделлю компетентностей	частково	–	+
Human-in-the-loop	частково	частково	+

У межах розробленої моделі інтелектуально-інформаційної системи модуль M_e визначається як композиція двох взаємопов'язаних функцій – генерації пояснень оцінки та виявлення ІІІ-генерованого контенту, що використовують спільні представлення трансформерної моделі. Модель компетентностей задається як множина компетентностей, декомпованих на вимірювані індикатори, кожен з яких має очікуваний когнітивний рівень і може бути зіставлений із відповідними ознаками текстової відповіді. Як основа семантичного аналізу застосовується модель типу Sentence-BERT, що забезпечує отримання щільних векторних представлень для порівняння з еталонними описами компетентностей [6].



Рис. 1. Архітектура інтегрованого модуля пояснюваності та контролю академічної доброчесності M_e

Загальну структуру модуля наведено на рис. 1, модуль M_e використовує спільний трансформерний шар, від якого відгалужуються дві функціональні гілки: $f_{explain}$ – для формування пояснень оцінювання та f_{detect} – для визначення ризику ІІІ-генерації. Функція генерації пояснень працює у три етапи: ідентифікація ключових фрагментів відповіді на основі ваг механізму уваги; гар-аналіз за індикаторами компетентностей з порівнянням досягнутого та очікуваного рівнів; формування структурованого пояснення у фіксованому форматі – узагальнена оцінка, сильні сторони з прикладами, слабкі сторони зі співвіднесенням з індикаторами, рекомендації та зворотний зв'язок

про когнітивний рівень за переглянутою таксономією Блума [3]. Перевага шаблонного підходу над вільною генерацією пояснення великою мовною моделлю полягає у його детермінованості: за умови фіксованих параметрів моделі та шаблонів повторний аналіз тієї самої відповіді забезпечує відтворюване пояснення, що є необхідною умовою для процедур апеляції оцінок. Функція виявлення ШІ-генерації працює з трьома ортогональними сигналами: мовно-статистичною передбачуваністю тексту, оскільки сучасні мовні моделі оптимізовані саме на цей критерій; стилістичною консистентністю поточної відповіді з індивідуальним профілем здобувача (середня довжина речення, лексичне розмаїття, частота сполучників), сформованим на основі попередніх верифікованих робіт; варіативністю розподілу ймовірностей послідовних токенів, яка в багатьох випадках є нижчою для ШІ-генерованих текстів. Підсумкова оцінка обчислюється логістичною регресією та відображається у трьох зонах інтерпретації ризику. Отримані сигнали не інтерпретуються як безпосередній доказ порушення академічної доброчесності, а використовуються як підстава для додаткової експертної перевірки.

Принципова перевага архітектури полягає в інтеграції двох гілок через спільний шар трансформерної моделі: фрагменти, ідентифіковані як підозрілі гілкою виявлення ШІ-генерації, автоматично потрапляють до пояснення з відповідним маркуванням. Це реалізує принцип *human-in-the-loop*, оскільки система формує обґрунтовану позицію для викладача, не замінюючи його експертного рішення. Це особливо важливо з огляду на задокументовані ризики алгоритмічної упередженості освітніх систем щодо різних груп здобувачів, зокрема тих, що недостатньо представлені в навчальних вибірках [1].

Модуль може застосовуватися для завдань, що потребують розгорнутої текстової відповіді: обґрунтування нормалізації, формулювання обмежень цілісності, порівняння реляційної та документо-орієнтованої моделей. Для такої відповіді модуль одночасно оцінює семантичну відповідність еталонному опису індикатора компетентності, визначає досягнутий когнітивний рівень за таксономією Блума – від «розуміння» через «застосування» до «аналізу» – та формує статистичні сигнали гілкою виявлення ШІ-генерації, які визначають віднесення відповіді до однієї з трьох зон інтерпретації ризику (табл. 2).

**Зони інтерпретації ризику ШІ-генерації
за статистичними сигналами гілки f_{detect}**

Сигнал f_{detect}	Зелена зона	Жовта зона	Червона зона
Перплексія тексту	у межах розподілу людських відповідей	проміжне значення	аномально низька
Стилістична консистентність	у межах профілю здобувача	часткове відхилення	значне відхилення
Варіативність розподілу токенів	характерна для людини	змішаний патерн	згладжений патерн
Рекомендована дія системи	прийняття результату оцінювання без додаткової перевірки	оцінка з рекомендацією ручної перевірки викладачем	призупинення зарахування результату, передавання на експертний розгляд

Об'єднання функцій генерації пояснень та виявлення ШІ-генерованого контенту в межах єдиного модуля знижує витрати на інференс, забезпечує узгодженість результатів і реалізує принцип пояснюваності рішень щодо академічної доброчесності. Архітектура придатна для інтеграції в існуючі системи управління навчанням, проте її ефективність залежить від якості корпусу верифікованих відповідей, коректності еталонних описів індикаторів компетентностей та мовної репрезентативності навчальних даних. Подальші дослідження стосуватимуться емпіричної валідації модуля на корпусі українськомовних відповідей здобувачів освіти у дисциплінах ІТ-циклу.

Список використаних джерел

1. Baker, R. S., & Hawn, A. (2022). Algorithmic bias in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(4), 1052–1092. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00285-9>
2. Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Tsai, Y.-S., Kay, J., Knight, S., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., & Gašević, D. (2022). Explainable artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>

3. Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
4. Li, J., Bobrov, A., West, D., Aloisi, C., & He, Y. (2024). AERA Chat: An interactive platform for automated explainable student answer assessment (arXiv:2410.09507). *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2410.09507>
5. Mitchell, E., Lee, Y., Khazatsky, A., Manning, C. D., & Finn, C. (2023). DetectGPT: Zero-shot machine-generated text detection using probability curvature. *Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning, 202*, 24950–24962. <https://proceedings.mlr.press/v202/mitchell23a.html>
6. Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks. *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*, 3982–3992. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1410>
7. Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?”: Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1135–1144. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
8. Saeed, W., & Omlin, C. (2023). Explainable AI (XAI): A systematic meta-survey of current challenges and future opportunities. *Knowledge-Based Systems*, 263, 110273. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110273>
9. Türkmen, G. (2025). The review of studies on explainable artificial intelligence in educational research. *Journal of Educational Computing Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/07356331241310915>
10. Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., Foltýnek, T., Guerrero-Dib, J., Popoola, O., Šigut, P., & Waddington, L. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. *International Journal for Educational Integrity*, 19, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40979-023-00146-z>

Андрій БЄЛІНСЬКИЙ

аспірант

(orcid.org/0000-0002-2821-2895)

Київський національний економічний університет

імені Вадима Гетьмана

м. Київ, Україна

Володимир СОЛОВЙОВ

доктор фізико-математичних наук, професор

(orcid.org/0000-0002-4945-202X)

Південноукраїнський національний педагогічний університет

імені К. Д. Ушинського

м. Одеса, Україна

Андрій МАТВІЙЧУК

доктор економічних наук, професор

(orcid.org/0000-0002-8911-5677)

Київський національний економічний університет

імені Вадима Гетьмана

м. Київ, Україна

Вікторія СОЛОВЙОВА

кандидат економічних наук, доцент (orcid.org/0000-0002-8090-9569)

Державний університет економіки і технологій

м. Кривий Ріг, Україна

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ ЗА РЕЖИМАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ ВИДИМОСТІ: ЗАСТОСУВАННЯ ПІДХОДУ k -ВИДИМОСТІ ДО АКЦІЙ ТА СИРОВИННИХ ТОВАРІВ

Виявлення ринкових режимів – періодів якісно різної поведінки цін активів, що характеризуються спокійним зростанням, високою волатильністю, спадом або боковим рухом – є фундаментальною задачею фінансової економетрики. Концепція режиму застосовується для управління ризиками, тактичного розподілу активів та макро-фінансового аналізу. До традиційних підходів належать прихована марковська модель [1], специфікації сімейства GARCH, а також кластеризація часових рядів на основі еластичних мір відстані (DTW, k -Shape) [2]. Однак ці методи стикаються з компромісом між обчислювальною складністю та здатністю враховувати нелінійну структуру часових рядів.

У роботі [3] запропоновано алгоритм k -видимості (k -visibility), який поєднує перетворення часового ряду у граф з подальшою кластеризацією методом k -середніх. Цей підхід зменшує обчислювальну вартість порівняно з методами на основі еластичних відстаней, зберігаючи при цьому здатність уловлювати топологічні особливості динаміки. Метою цієї роботи є застосування алгоритму k -видимості для виявлення режимів трьох знакових фінансових активів: індексу S&P 500 (акції США), золота (захисний актив) та сирої нафти Brent (промисловий товар).

Графом видимості часового ряду називають граф, у якому вершинам відповідають спостереження ряду, а ребра з'єднують пари точок, які бачать одна одну за певним геометричним правилом [4]. Для горизонтального графа видимості (Horizontal Visibility Graph, HVG) [5] ребро між вершинами i та j існує тоді й лише тоді, коли

$$x_k < \min(x_i, x_j) \text{ для всіх } i < k < j. \quad (1)$$

Для природного графа видимості (Natural Visibility Graph, NVG) [4] умова узагальнюється на похилу видимість:

$$x_k < x_i + (x_j - x_i)(k - i)/(j - i). \quad (2)$$

Згідно з оригінальною реалізацією алгоритму в бібліотеці sktime [6], для кожного вікна часового ряду будуються обидва графи, з яких витягуються 4 топологічні ознаки: щільність та максимальний степінь вершини для HVG та NVG. У нашому випадку розраховано шістнадцять топологічних ознак: щільність, стандартне відхилення степеня вершини, максимальний степінь вершини, транзитивність, коефіцієнт асортативності за степенем, спектральний радіус, алгебраїчна зв'язність і середня найкоротша довжина шляху як для HVG, так і для NVG. Отримана матриця ознак передається до алгоритму k -середніх, який мінімізує внутрішньокластерну суму квадратів відстаней:

$$J = \sum_{c=1}^k \sum_{x \in C_c} \|x - \mu_c\|^2. \quad (3)$$

де μ_c – центроїд кластера C_c , а k – задана кількість кластерів. Через малу розмірність простору ознак для стабілізації розв'язку метод k -середніх запускається з різними початковими значеннями центрів кластерів. Кінцевим результатом є найкращий результат із 50 послідовних запусків за показником інерції.

Для аналізу використано щоденні ціни закриття трьох активів: індекс S&P 500 (з 3 грудня 2000 р.), ф'ючерси на золото (з 30 серпня 2000 р.) та ф'ючерси на сиру нафту Brent (з 30 липня 2007 р.). Усі ряди завершуються 21 травнем 2026 р. Ціни конвертовано у логарифмічні доходності $r_t = \ln(P_t/P_{t-1})$, сегментовано у ковзні вікна довжиною 30 торгових днів і розбито на $k = 4$ режими для кожного активу. Мітки кластерів перепризначено за середньою внутрішньовіконною доходністю так, щоб R0 відповідав найгіршому, а R3 – найкращому режиму.

Результати кластеризації представлено на рис. 1–3. Для кожного активу ціновий ряд забарвлено відповідно до знайденого режиму на відповідному віконному інтервалі.



Рис. 1. Виявлені режими для індексу S&P 500



Рис. 2. Виявлені режими для золота

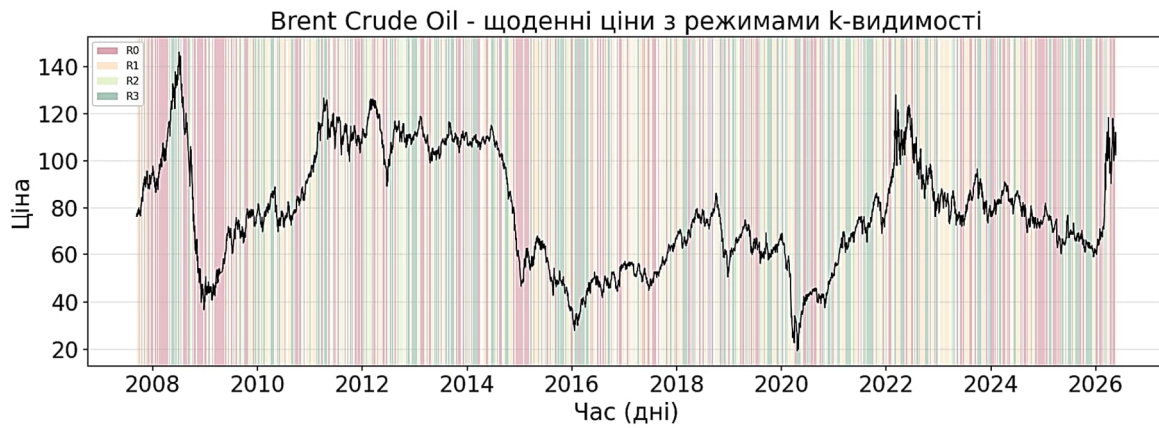


Рис. 3. Виявлені режими для нафти Brent.

Кількісні характеристики режимів для трьох активів подано у таблиці. Для кожного режиму обчислено кількість днів, річну доходність, річну волатильність та коефіцієнт Шарпа (масштабований множителем $\sqrt{252}$).

Таблиця 1

Статистики режимів, виявлених алгоритмом k -видимості

Актив	Режим	Днів	Річна дох.	Річна вол.	Шарп
S&P 500	R0	1765	−40.7%	18.1%	−2.25
	R1	1949	−16.1%	20.0%	−0.81
	R2	1396	25.8%	17.4%	+1.48
	R3	1496	73.2%	20.6%	+3.55
Золото	R0	1569	−48.9%	16.7%	−2.92
	R1	1402	76.4%	18.5%	+4.14
	R2	2296	−9.3%	18.0%	−0.52
	R3	1158	53.5%	16.9%	+3.17
Brent	R0	1495	−34.8%	37.7%	−0.92
	R1	1167	−129.3%	35.8%	−3.62
	R2	889	155.6%	40.5%	+3.85
	R3	1101	65.7%	38.4%	+1.71

Аналіз таблиці 1 показує, що алгоритм k -видимості ідентифікує режими, які істотно різняться за профілем ризику-дохідності. Для всіх

трьох активів розмах коефіцієнта Шарпа між найкращим і найгіршим режимами перевищує 5 одиниць: S&P 500 – від $-2,25$ до $+3,55$; золото – від $-2,92$ до $+4,14$; Brent – від $-3,62$ до $+3,85$. Це підтверджує економічну інтерпретованість розбиття: один із кластерів кожного активу систематично відповідає періодам сильного зростання, тоді як інший – глибоким просіданням. Для золота режим R1 досягає найвищого абсолютного значення коефіцієнта Шарпа ($+4,14$), що відповідає інтенсивним епізодам перетоку капіталу у «захисний актив».

Водночас рис. 1–3 свідчать про обмеження поточної конфігурації алгоритму. Виявлені режими істотно фрагментовані у часі: смуги одного кольору рідко тривають довше кількох тижнів, а суміжні вікна можуть приписуватися різним кластерам. Така поведінка пояснюється кількома чинниками. По-перше, вікно довжиною 30 торгових днів коротке відносно типового горизонту макрофінансових режимів. По-друге, базовий простір ознак алгоритму k -видимості складається лише з шістнадцяти характеристик, що робить розв'язок методу k -середніх чутливим до малих збурень даних. По-третє, метод не передбачає тимчасової регуляризації переходів між режимами, на відміну від моделей з прихованими марковськими станами.

Серед напрямів подальшого розвитку методу можна виділити такі: (а) розширення набору графових ознак за рахунок спектральних та топологічних характеристик мережі, що збільшує розмірність простору ознак і стабілізує кластеризацію; (б) збільшення довжини ковзного вікна до 60–120 торгових днів для узгодження з типовою тривалістю макрофінансових режимів; (в) порівняння з еталонними методами (HMM, k -Shape, DTW) за коригованим індексом Ранда та коефіцієнтом силуету; (г) застосування пост-обробки міток для підвищення стійкості режимної послідовності без втрати інтерпретованості.

Отримані результати свідчать про те, що алгоритм k -видимості є перспективним інструментом для виявлення режимів у фінансових часових рядах. Він демонструє економічно інтерпретовані розбиття зі значним розмахом коефіцієнтів Шарпа, водночас потребуючи методологічного вдосконалення в частині часової узгодженості міток та повноти простору графових ознак.

Список використаних джерел

1. Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica*, 57(2), 357–384. <https://doi.org/10.2307/1912559>

2. Aghabozorgi, S., Shirkhorshidi, A. S., & Wah, T. Y. (2015). Time-series clustering – a decade review. *Information Systems*, 53, 16–38. <https://doi.org/10.1016/j.is.2015.04.007>
3. 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709247105>
4. Luque, B., Lacasa, L., Ballesteros, F., & Luque, J. (2009). Horizontal visibility graphs: Exact results for random time series. *Physical Review E*, 80(4), 046103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.046103>
5. Löning, M., Bagnall, A., Ganesh, S., Kazakov, V., Lines, J., & Király, F. J. (2019). sktime: A unified interface for machine learning with time series. *arXiv:1909.07872*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.07872>
6. Löning, M., Bagnall, A., Ganesh, S., Kazakov, V., Lines, J., & Király, F. J. (2019). sktime: A unified interface for machine learning with time series. *arXiv:1909.07872*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.07872>

Данііл САНЖАРОВ

студент

(orcid.org/0009-0004-6600-5557)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Тетяна ФІЛІМОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент

(orcid.org/0000-0001-9467-0141)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ДЕТЕКЦІЇ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ У ВОДОЙМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Забруднення водних ресурсів є глобальною проблемою, що становить критичну загрозу екології та суспільному здоров'ю [1]. Для прийняття ефективних рішень щодо розв'язання цих проблем необхідно мати точні дані про поточний стан середовища. Оскільки акваторії мають значну площу, доцільною є автоматизація процесу збору інформації. Ця галузь є предметом активних досліджень, у межах яких випробовують різні методології детекції та моніторингу акваторій [2–5].

Критичним викликом у детекції пластикових відходів за даними аерозйомки або моніторингу водних поверхонь є малий розмір цільових об'єктів. Традиційні згорткові мережі демонструють обмежену точність розпізнавання дрібних деталей через специфіку операції згортки та використання низької роздільної здатності для мінімізації обчислювальних витрат. Популярним методом для розв'язання цієї проблеми є фреймворк Slicing- Aided Hyper Inference (SAHI) [6]. Метод полягає у фрагментації зображень високої роздільної здатності на менші патчі з частковим перекриттям, що забезпечує моделі доступ до деталізованих ознак під час інференсу. Попри суттєвий приріст точності (наприклад, підвищення AP_{50}^S з 18.1 до 31.6 для моделі TOOD), основним недоліком SAHI є зростання обчислювальної складності $O(n)$ пропорційно кількості фрагментів.

Передовою моделлю комп'ютерного зору є YOLO26 [7]. На відміну від попередніх ітерацій (YOLOv8, YOLOv11), у YOLO26 реалізовано наскрізне передбачення (end-to-end) без використання алгоритму Non-Maximum Suppression (NMS) та модуля Distribution Focal Loss (DFL). Це спрощує архітектуру та підвищує її продуктивність на малопотужних пристроях. Ключовими для детекції сміття є впровадження механізму Small-Target-Aware Label Assignment (STAL), що пріоритезує об'єкти з обмеженою піксельною інформацією, та динамічне балансування втрат (ProgLoss). Зазначені оптимізації разом із використанням оптимізатора MuSGD дозволили підвищити метрику mAP до 53.1 (для версії «m») порівняно з 51.5 у YOLOv11m.

Оскільки SAHI та новітні механізми YOLO26 спрямовані на розв'язання проблеми малих об'єктів, виникає потреба в дослідженні їхньої сумісності та можливості синергії. Для цього розроблено двохетапний експериментальний дизайн: тренування двох конфігурацій моделей та їх подальша валідація на спільній контрольній вибірці.

Базовою архітектурою обрано YOLO26m завдяки оптимальному балансу між точністю та обчислювальною складністю. Тренування, інференс та валідація цієї моделі здійснюються за допомогою офіційного інструментарію Ultralytics [8]. Для коректної роботи фреймворку SAHI проведено донавчання за методом Slicing-Aided Fine-Tuning (SAFT), що передбачає аугментацію тренувальної вибірки фрагментованими зображеннями за допомогою офіційних інструментів SAHI [9]. Інференс аугментованої моделі також використовує цей фреймворк, тоді як валідація результатів виконується за допомогою сторонніх бібліотек для розрахунку стандартних метрик COCO.

Як набір даних використано FloW-img [2] — один із найбільших відкритих датасетів для детекції пластикових відходів у водоймах. Вибірка містить анотовані зображення розміром 1280×640 , отримані з безекіпажних катерів, що застосовуються для автоматизованого очищення акваторій. Ці дані є репрезентативними та об'єктивно відображають реальні умови предметної області. Оцінку ефективності базової та аугментованої моделей здійснено як стандартними засобами Ultralytics, так і з використанням експериментального конвеєра (*pipeline*) SAHI. Порівняльні результати роботи моделей наведені в Табл. 1.

Таблиця 1

Метрики якості детекції

Модель	mAP	mAP ₅₀	mAP _S	F ₁	Precision	Recall
YOLO26m	0.448	0.881	0.304	0.853	0.866	0.840
YOLO26m + SAFT	0.405	0.841	0.263	0.830	0.863	0.800
YOLO26m + SAHI	0.260	0.631	0.227	0.729	0.761	0.700
YOLO26m + SAFT + SAHI	0.308	0.727	0.213	0.769	0.813	0.730

Результати дослідження демонструють, що базова архітектура YOLO26m суттєво перевершує конфігурації з використанням SAHI на реалістичних наборах даних. Хоча методологія SAHI теоретично здатна покращити виявлення дрібних об'єктів, вона спирається на припущення про наявність зображень надвисокої роздільної здатності з великим обсягом піксельної інформації. На практиці ж, через технічні обмеження моніторингового обладнання, дані часто збираються в середній або низькій роздільній здатності (як у випадку з FloW-img).

У таких умовах примусова фрагментація кадрів виявляється неефективною, оскільки порушує глобальний контекст сцени. Натомість YOLO26m розв'язує задачу без додаткових ресурсомістких операцій зрізу, спираючись на аналіз усього зображення в цілому.

Архітектурні вдосконалення, впроваджені в сімейство YOLO за роки після виходу SAHI, перетворили ці моделі на самодостатні, швидкі та точні рішення. Попри те, що абсолютні показники mAP та mAP_S можуть здаватися помірними, досягнутий рівень mAP₅₀ є достатнім та вагомим показником надійності системи для розв'язання прикладних задач екологічного моніторингу в реальному часі.

Список використаних джерел

1. Strokal, V., Kurovska, A., & Strokal, M. (2023). More River Pollution from Untreated Urban Waste Due to the Russian-Ukrainian War: A Perspective View. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920>
2. Cheng, Y., Zhu, J., Jiang, M., Fu, J., Pang, C., Wang, P., Sankaran, K., Onabola, O., Liu, Y., Liu, D., & Bengio, Y. (2021). FloW: A Dataset and Benchmark for Floating Waste Detection in Inland Waters. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 10933–10942. <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.01077>
3. Li, Y., Wang, R., Gao, D., & Liu, Z. (2023). A Floating-Waste-Detection Method for Unmanned Surface Vehicle Based on Feature Fusion and Enhancement. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2234. <https://doi.org/10.3390/jmse11122234>
4. Jia, T., Taormina, R., vries, R. de, Kapelan, Z., Emmerik, T. van, Vriend, P., & Okkerman, I. (2025). A Semi-Supervised Learning-Based Framework for Quantifying Litter Fluxes in River Systems. *Water Research*, 124833. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124833>
5. Zhang, C., Yue, J., Fu, J., & Wu, S. (2025). River Floating Object Detection with Transformer Model in Real Time. *Scientific Reports*, 15, 9026. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93659-1>
6. Akyon, F. C., Altinuc, S. O., & Temizel, A. (2022). Slicing Aided Hyper Inference and Fine-tuning for Small Object Detection. 2022 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 966–970. <https://doi.org/10.1109/ICIP46576.2022.9897990>
7. Sapkota, R., Cheppally, R. H., Sharda, A., & Karkee, M. (2026). YOLO26: Key Architectural Enhancements and Performance Benchmarking for Real-Time Object Detection. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.25164>
8. Glenn Jocher, & Jing Qiu. (2026,). *Ultralytics YOLO26*. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
9. Akyon, F. C., Cengiz, C., Altinuc, S. O., Cavusoglu, D., Sahin, K., & Eryuksel, O. (2021, Листопад). SAHI: A Lightweight Vision Library for Performing Large Scale Object Detection and Instance Segmentation. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5718950>

Катерина ПАЛАГУТА

кандидат економічних наук, доцент

(orcid.org/0000-0003-1167-9509)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

МОДЕЛІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНОГО КУРСУ

Сучасний валютний ринок характеризується високим рівнем нестабільності, значною чутливістю до макроекономічних факторів та швидкими змінами ринкових тенденцій. Для економіки України особливого значення набуває прогнозування валютного курсу USD/UAH, оскільки коливання курсу долара США безпосередньо впливають на інфляційні процеси, ціноутворення, імпортно-експортні операції, державний борг та фінансову стабільність підприємств. У таких умовах використання традиційних статистичних методів прогнозування часто є недостатньо ефективним через складну нелінійну природу фінансових часових рядів. Це обумовлює актуальність застосування моделей глибокого навчання для аналізу та прогнозування валютних курсів.

Одними з найбільш ефективних моделей для аналізу часових рядів є рекурентні нейронні мережі (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM) та Gated Recurrent Unit (GRU). Особливістю LSTM-мереж є здатність враховувати довгострокові залежності між попередніми значеннями ряду та зберігати інформацію у спеціальних комірках пам'яті. Це робить такі моделі особливо придатними для прогнозування фінансових показників.

У роботі розглянуто застосування моделі LSTM для прогнозування валютного курсу USD/UAH на основі історичних часових рядів. Джерелом даних виступали офіційні статистичні дані Національного банку України [1] та фінансові дані сервісу Yahoo Finance [2]. Для експерименту використовувалися щоденні значення валютного курсу USD/UAH за період 2020–2025 років. Набір даних включав такі параметри: курс відкриття (Open), максимальний курс за день (High), мінімальний курс (Low), курс закриття (Close) та обсяг торгів (Volume). Основним прогнозованим параметром був курс закриття валютної пари.

Перед навчанням моделі дані проходили етап попередньої обробки, що включав очищення пропущених значень, нормалізацію та формування часових послідовностей. Для масштабування даних застосовувався метод Min-Max Scaling:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

де X – поточне значення ознаки,

X_{min} та X_{max} – мінімальне і максимальне значення вибірки відповідно.

Для побудови навчальної вибірки використовувалося часове вікно довжиною 30 днів. Таким чином, модель прогнозувала значення валютного курсу на наступний день на основі попередніх 30 спостережень.

Оснoву моделі становила багатoshарова LSTM-мережа. Робота LSTM-блоку описується такими рівняннями:

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (3)$$

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_1 \quad (4)$$

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (5)$$

де f_t – forget gate,

i_t – input gate,

C_t – стан комірки пам'яті,

h_t – прихований стан мережі.

Для реалізації моделі використовувалися інструменти Python: TensorFlow, Keras, Pandas, NumPy, Scikit-learn, Matplotlib. Навчання моделі виконувалося у середовищі Jupyter Notebook із використанням оптимізатора Adam та функції втрат Mean Squared Error (MSE):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_t - \hat{y}_y)^2 \quad (6)$$

Архітектура нейронної мережі включала два LSTM-шари по 64 нейрони, шари Dropout для зменшення ризику перенавчання та один Dense-шар для формування кінцевого прогнозу. Навчання проводилося протягом 50 епох із параметром batch size = 32.

Для оцінювання якості прогнозування використовувалися метрики RMSE та MAE. У результаті експериментального дослідження було отримано такі результати: RMSE = 0.214 та MAE = 0.163 для тестової вибірки. Порівняння прогнозованих і реальних значень валютного курсу USD/UAH показало, що модель достатньо точно відтворює короткострокові тенденції зміни курсу та здатна виявляти загальний напрям ринкової динаміки (рис. 1).

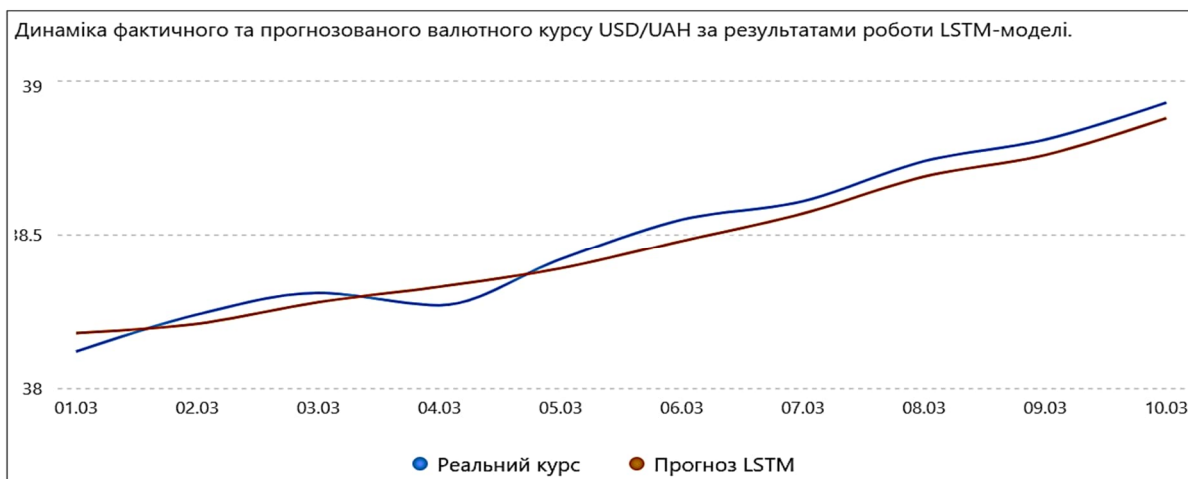


Рис. 1. Порівняння фактичних та прогнозованих значень валютного курсу USD/UAH за допомогою моделі LSTM.

Порівняння результатів із класичною моделлю ARIMA показало перевагу LSTM-моделі за точністю прогнозування. Для моделі ARIMA значення RMSE становило 0.347, що приблизно на 38 % гірше порівняно з моделлю глибокого навчання. Це підтверджує доцільність використання нейронних мереж для аналізу фінансових часових рядів в умовах високої волатильності валютного ринку. Додатково було проаналізовано вплив кількості епох навчання та параметрів регуляризації на результати прогнозування. Встановлено, що використання Dropout-регуляризації дозволило зменшити ефект перенавчання та покращити узагальнювальну здатність моделі. Також встановлено, що збільшення часового вікна понад 30 днів не забезпечувало суттєвого покращення точності прогнозу.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування моделей глибокого навчання у задачах прогнозування валютних курсів та побудови інтелектуальних систем фінансової аналітики. Розроблений підхід може бути використаний у банківських інформаційних системах, системах підтримки прийняття фінансових рішень, трейдингових платформах та програмних рішеннях для економічного прогнозування. Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення гібридних моделей на основі LSTM, Transformer та механізмів attention, а також інтеграцію Explainable AI для підвищення інтерпретованості прогнозів.

Список використаних джерел

1. Національний банк України. *Офіційний курс гривні щодо іноземних валют*. <https://bank.gov.ua/ua/markets/exchangerates>
2. Yahoo Finance. *Historical Data USD/UAH*. <https://finance.yahoo.com/quote/UAH%3DX/history/>
3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). *Long short-term memory*. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
4. Abouzaid, O., & Boussedra, F. (2025). *Artificial intelligence and exchange rate forecasting: Assessing predictive accuracy and macroeconomic sensitivity*. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. <https://doi.org/10.3389/fams.2025.1654093>

Vladyslav VDOVYCHENKO

PhD Student

(orcid.org/0009-0005-0231-2299)

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Valentyna PLESKACH

Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Professor
(orcid.org/0000-0003-0552-0972)

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

GENERATION OF REALISTIC 3D SCENE MODELS VIA 3D GAUSSIAN SPLATTING TRAINING

Realistic three-dimensional scene reconstruction from photographs is a long-standing problem in computer vision and computer graphics. Among recent neural-rendering methods, neural radiance fields (NeRF) [1] represent a scene as a continuous volumetric function parameterised by a neural network, while 3D Gaussian Splatting (3DGS) [2] represents it as an unstructured collection of anisotropic 3D Gaussians optimised by differentiable rasterisation. Compared with NeRF, 3DGS offers comparable or higher reconstruction quality and substantially faster rendering, which makes it attractive for practical realistic 3D modelling.

The Mip-NeRF 360 dataset [3], contains nine high-resolution scenes captured along approximately 360-degree trajectories around a central object or interior region. Three representative scenes were selected for this study: garden (outdoor, unbounded), room (indoor, bounded), and bonsai (indoor, object-centric).

Each scene was imported into LichtFeld Studio [4], an open-source C++/CUDA implementation of 3D Gaussian Splatting, using the bundled COLMAP-formatted data so that no additional sparse reconstruction step was required. Training was performed for 30,000 iterations per scene with the default optimisation and densification strategy and held-out evaluation enabled.

3DGS [2] represents a scene as a set of anisotropic 3D Gaussian primitives parameterised by position, covariance, opacity, and view-dependent colour expressed through spherical-harmonic coefficients; a differentiable tile-based rasteriser provides gradients of a photometric loss with respect to all parameters, while an adaptive scheme grows and prunes primitives during optimisation. Formally, each primitive is described by the 3D Gaussian density function given in Eq. (1), where μ denotes its centre and Σ its anisotropic covariance matrix; the covariance is factorised into a rotation matrix R and a diagonal scale matrix S so that it remains positive semi-definite throughout optimisation [2].

$$G(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \mu)^\top \Sigma^{-1}(x - \mu)\right), \quad (1)$$

$$\Sigma = RSS^\top R^\top \quad (2)$$

The per-Gaussian parameters (μ , R , S), together with an opacity and view-dependent spherical-harmonic colour, are jointly optimised by a photometric loss against the input photographs.

Evaluation in LichtFeld Studio renders held-out images at predefined checkpoints and compares them to the ground-truth photographs using PSNR computed from per-pixel mean squared error and SSIM [5]. Held-out images rendered by the trained model are compared against the corresponding ground-truth photographs through the peak signal-to-noise ratio (PSNR), which is derived from the per-pixel mean squared error (MSE) as shown in Eq. (3), where N is the number of pixels, I_k^{gt} and I_k^{pred} denote the ground-truth and predicted intensities of pixel k , and $MAX = 1$ for images normalised to the $[0, 1]$ range.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (I_k^{gt} - I_k^{pred})^2, \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE} \quad (4)$$

The provided evaluation reports contain measurements at four checkpoints (5,000, 15,000, 25,000, and 30,000 iterations) for each scene. Table 1 summarises the final-iteration values; intermediate checkpoints are referenced inline when discussing convergence behaviour.

Table 1

Final-iteration evaluation metrics for the three Mip-NeRF 360 scenes

Scene	PSNR (dB)	SSIM	Time/img (s)	Iter.
Garden	28.6629	0.8555	1.5561	30,000
Room	32.4564	0.9310	0.7964	30,000
Bonsai	33.6547	0.9511	0.9115	30,000

A representative novel-view rendering produced by the trained model in the LichtFeld Studio viewer is shown in Fig. 1.

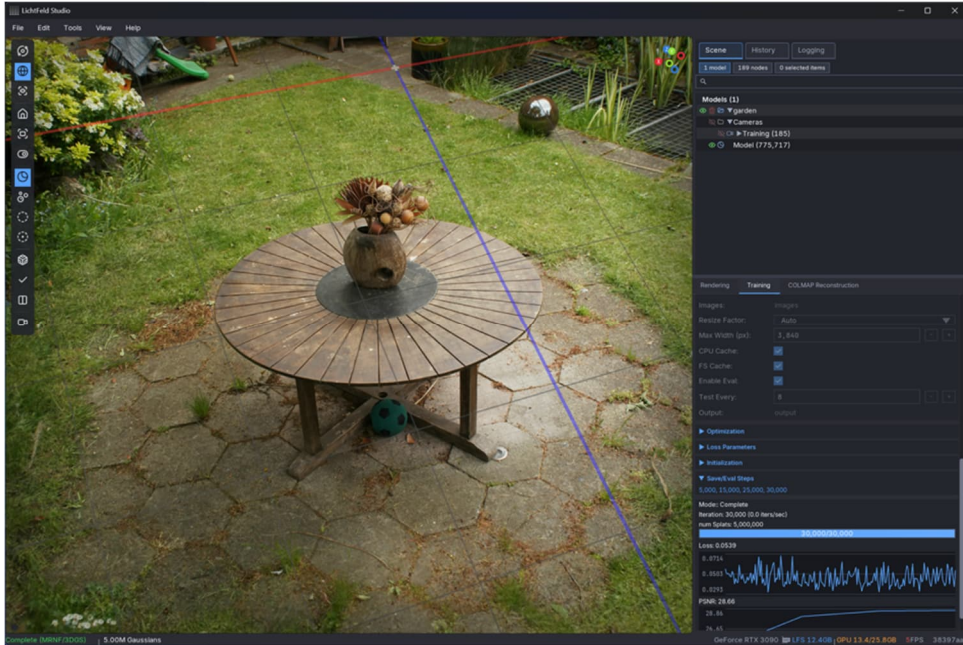


Fig. 1. The LichtFeld Studio real-time viewer rendering one of the trained 3D Gaussian Splatting models, with the camera-control panel and the gaussian-set summary visible on the right

Across all three scenes, both PSNR and SSIM improve monotonically with iteration count, with the largest single gain occurring between iterations 5,000 and 15,000. For garden, PSNR rises from 24.64 dB at 5k to 27.99 dB at 15k (+3.35 dB) and then to 28.66 dB at 30k (a further +0.67 dB); the corresponding trajectories for room and bonsai are $28.31 \rightarrow 31.20 \rightarrow 32.46$ dB and $29.36 \rightarrow 32.27 \rightarrow 33.65$ dB. The diminishing per-checkpoint gain indicates that all three models approach convergence by iteration 30,000, with the indoor scenes still exhibiting modest residual improvement. The Gaussian count saturates at the 5×10^6 cap for all three scenes by iteration 15,000, so the second-half gains stem from refinement of existing primitives rather than from additional densification.

Indoor scenes (room, bonsai) outperform the unbounded outdoor scene (garden) on both metrics, which is consistent with the analysis of Mip-NeRF 360 [3]. Qualitatively, the rendered novel views preserve fine geometric details and view-dependent lighting in a visually realistic manner, and the final PSNR and SSIM values are in line with values commonly reported for 3DGS on Mip-NeRF 360 [2].

The obtained metrics indicate that 30,000 iterations of 3DGS training in LichtFeld Studio are sufficient to produce visually realistic three-dimensional scene representations for the considered Mip-NeRF 360 scenes, and the monotonic per-checkpoint improvement suggests stable optimisation behaviour. Conceptually, 3DGS reaches such reconstruction quality with substantially lower rendering cost than implicit volumetric methods such as NeRF [1] and exposes an explicit point-based representation that is convenient for editing, compression, and downstream rendering, although the present experiment does not include a head-to-head benchmark against NeRF-based or classical photogrammetric pipelines and no claim of direct superiority is made. The performance gap between the unbounded garden scene and the two indoor scenes indicates that outdoor reconstruction remains a more challenging regime for 3DGS even at 30,000 iterations and 5×10^6 Gaussians, which is consistent with the analysis of Barron et al. [3]. Practical applications for which the obtained quality is plausibly sufficient include realistic visualisation, virtual and augmented reality content, digital twins of indoor environments, cultural-heritage documentation, and geoinformation systems; for mobile or AR deployment, additional compression of the Gaussian model would likely be required.

An experimental study of realistic 3D scene reconstruction using 3D Gaussian Splatting has been reported. Three scenes from the Mip-NeRF

360 dataset—garden, room, and bonsai—were trained in LichtFeld Studio for 30,000 iterations each, yielding final PSNR values of 28.66, 32.46, and 33.65 dB and SSIM values of 0.856, 0.931, and 0.951, with a 5×10^6 -Gaussian model in each case. The obtained metrics, together with qualitative inspection, indicate that 30,000 iterations are sufficient to produce visually realistic reconstructions, with indoor scenes converging to higher quality than the unbounded outdoor scene. Future work includes collection of LPIPS, controlled evaluation of iteration counts and Gaussian caps, measurement of interactive viewer-grade rendering performance, reconstruction from custom photograph sets, and adaptation for mobile and AR-oriented pipelines through compression.

References

1. B. Mildenhall, P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T. Barron, R. Ramamoorthi, and R. Ng, «NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis,» in Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV), 2020.
2. B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkühler, and G. Drettakis, «3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering,» ACM Transactions on Graphics, vol. 42, no. 4, 2023.
3. J. T. Barron, B. Mildenhall, D. Verbin, P. P. Srinivasan, and P. Hedman, «Mip-NeRF 360: Unbounded Anti-Aliased Neural Radiance Fields,» in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022.
4. LichtFeld Studio, open-source 3D Gaussian Splatting training environment. [Online]. Available: <https://github.com/MrNeRF/LichtFeld-Studio>
5. Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, «Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity,» IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600–612, 2004.

Андрій ГУЖВІЙ

аспірант

(orcid.org/0009-0000-0903-2613)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ АНАЛІЗУ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ У СИСТЕМАХ БАНКІВСЬКОГО КОМПЛАЄНСУ

Регуляторний тиск на банки зростає щороку. Лише в ЄС за 2023 рік з'явилося понад 200 нормативних актів у сфері фінансового нагляду; НБУ протягом 2024-2025 років запровадив низку нових вимог, пов'язаних із DORA та стандартами AML/CFT. Ручні процеси за таким темпом просто не встигають. Показова цифра: за глобальним опитуванням Moody's [4] лише 30 % організацій активно використовують або тестують AI для комплаєнс-завдань. Автоматизація аналізу нормативної документації через NLP, це конкретна відповідь на цей розрив. Українським банкам ще складніше, після 2022 року вони паралельно адаптуються до євроінтеграційних вимог і нових санкційних режимів. Системна регуляторна стійкість перетворилася на операційний пріоритет.

Мета роботи полягає у визначанні особливостей застосування NLP-методів в автоматизованому аналізі нормативних документів і за яких умов їх впровадження в банківські комплаєнс-системи буде реально ефективним, враховуючи специфіку регуляторного середовища України.

Що конкретно дають NLP-методи. Передусім знімають рутину з людей. Класифікація нормативних документів, розпізнавання іменованих сутностей: назви регуляторів, фінансові інструменти, строки виконання; стислі аналітичні резюме; семантичний пошук у великих текстових базах. Раніше це забирало години ручної праці. Але є застереження, і досить серйозне. Якість роботи впирається в якість доменних навчальних даних. Кинути загальномовну модель без fine-tuning на юридично-фінансовий текст? Вона часто не справляється. Специфічна термінологія та важкий синтаксис нормативних актів поверхневого навчання не пробачають. Окремої уваги заслуговує архітектура Retrieval-Augmented Generation (RAG). Вона поєднує векторний семантичний пошук з генеративними мовними моделями і знаходить нормативні положення, змістовно споріднені із запитом,

навіть якщо сформульовані вони зовсім інакше. Дослідження ComplianceNLP [1] демонструє: інтеграція knowledge graph у RAG-архітектуру помітно знижує кількість пропущених колізій між внутрішніми банківськими політиками та зовнішніми регуляторними вимогами. Для банків під наглядом НБУ та ЄЦБ одночасно це не абстрактна перевага, а операційна необхідність.

Таблиця 1

Основні NLP-методи у банківському комплаєнсі

Метод	Функціональне призначення	Практичне застосування
Text Classification	Автоматичне групування документів	Розподіл нормативних актів
Semantic Search	Пошук змістовно релевантної інформації	Аналіз регуляторних вимог
Named Entity Recognition	Виявлення ключових сутностей	Ідентифікація регуляторів та вимог
Text Summarization	Формування коротких висновків	Підготовка комплаєнс-звітів
Similarity Analysis	Порівняння текстових документів	Виявлення невідповідностей

На практиці NLP закриває три основні класи задач. Перше: моніторинг нормативних змін у реальному часі, система відстежує оновлення регуляторних джерел і автоматично виявляє невідповідності з внутрішніми процедурами банку. Друге: семантичний пошук. Комплаєнс-офіцер формулює запит своїми словами і отримує релевантні положення, час пошуку скорочується суттєво порівняно з ручним переглядом сотень сторінок. Третє: класифікація та пріоритизація звернень і скарг з AML/KYC-ознаками для подальшої ручної верифікації. Окрема проблема, структурна неоднорідність документації: один пакет документів може поєднувати юридичні формулювання, числові показники, таблиці й посилання на зовнішні стандарти. Уніфікований NLP-пайплайн тут не спрацює. Перспективний підхід: гібридні архітектури, де детерміновані методи (регулярні вирази, rule-based NER) поєднуються з нейронними моделями. Це підвищує передбачуваність результатів і спрощує аудит рішень, що критично важливо в регульованому середовищі.

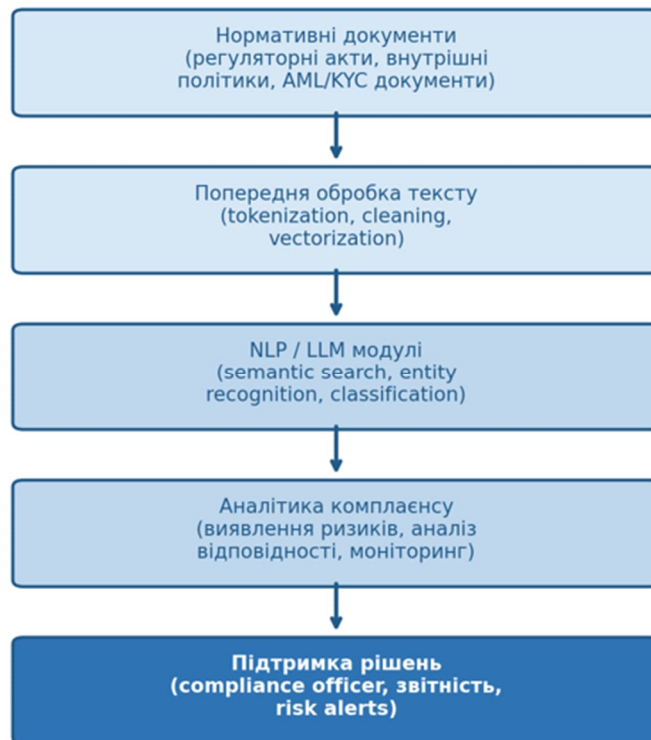


Рис. 1. Авторське бачення – архітектура використання NLP у системі банківського комплаєнсу

AI входить у банки стрімко. EY-Parthenon [3] дає 77 % банків у світі, які або впровадили, або активно тестують AI хоча б в одному операційному домені. По регіону картина схожа: Deloitte [2] на вибірці 87 банків EMEA нарахував 67 % таких установ, попереду AML/Fraud detection із 58 % [2]. А далі починається найцікавіше. Глобальне опитування Moody's [4] показує цифру, яка ламає оптимізм. Безпосередньо для регуляторного комплаєнсу AI застосовують лише 34 % організацій.

Таблиця 2

Напрями застосування AI у комплаєнсі та управлінні ризиками за даними Moody's [4]

Напрямок застосування AI	Частка організацій
Аналіз та обробка даних	63 %
Управління ризиками	53 %
Виявлення шахрайства/фроду	51 %
Автоматизація процесів	46 %
Скринінг клієнтів (AML/KYC)	45 %
Регуляторний комплаєнс	34 %

Тут проступає парадокс. Регуляторний комплаєнс, напрям із найочевиднішим потенціалом AI, має найнижчий показник фактичного впровадження: лише 34 % [4]. Пояснення не технічне. Головний бар'єр, регуляторна невизначеність щодо відповідальності за рішення, прийняті на основі AI-аналізу нормативних документів. Хто відповідає за наслідки, якщо AI помилився в інтерпретації норми? Досі немає чіткої відповіді в жодній юрисдикції.

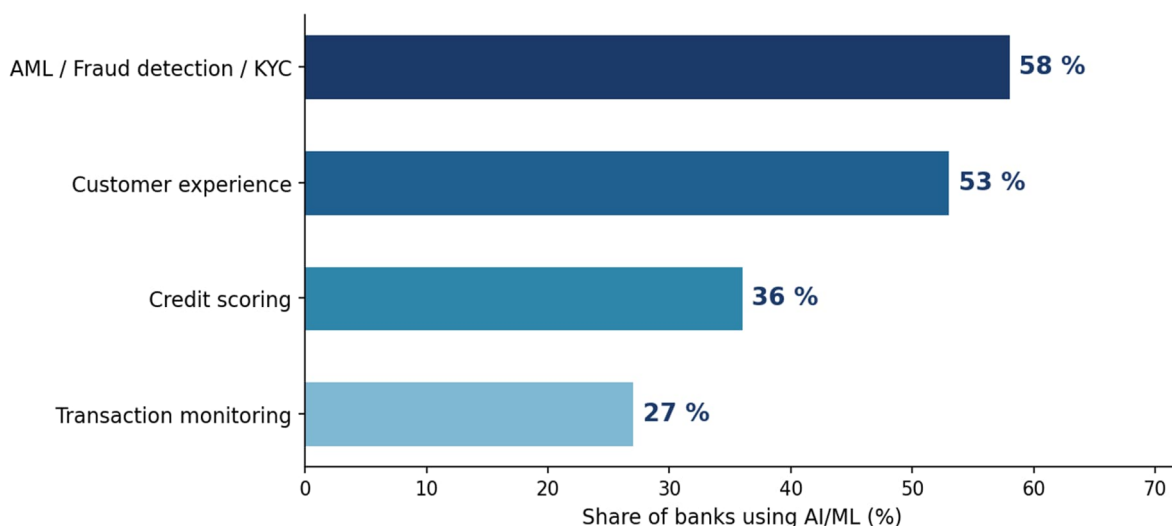


Рис. 2. Напрями застосування AI/ML у банках ЕМЕА (2025). % від банків, що використовують AI/ML (67 % вибірки; n = 87 банків) [2]

Тим часом GenAI і великі мовні моделі набирають обертів. Deloitte [2] фіксує: 76 % банків ЕМЕА вже працюють із GenAI або LLM. Та цікавіша інша цифра. Лише 40 % банків, які ввели моделі виявлення фінансових злочинів у периметр Model Risk Management, мають фахівців, здатних ці моделі валідувати [2]. Простіше: технології заводять швидше, ніж готують людей, які вміють їх перевіряти. На цьому розриві NLP-аналіз нормативної документації і виявляється корисним, він не усуває дефіцит експертизи, але частину рутинного навантаження з вузьких спеціалістів знімає.

Тепер про ризики, без них картина неповна. Найнебезпечніша не технічна недосконалість моделей сама собою. Небезпечніший інший тип збою, галюцинації. Модель видає твердження, яке звучить переконливо, а фактично хибне. У банку це здатне обернутися системним порушенням, яке помічають не одразу; наслідки проявляються згодом. Додає проблем і те, що більшість сучасних LLM не дає надійної оцінки власної впевненості, як тоді встановити поріг довіри в сценаріях із регуляторними наслідками? Питання відкрите.

Концепція human-centered RegTech пропонує найреалістичніший вихід. AI не підміняє фахівця; він готує ранжований перелік релевантних положень із поясненням, чому відібрано саме їх, а рішення ухвалює людина. Подвійний виграш: ризик під контролем, аудиторський слід є. Саме цього прямо вимагають DORA та НБУ щодо прозорості SupTech-рішень [5].

NLP уже сьогодні робить реальну роботу в банківському комплаєнсі. Семантичний пошук, моніторинг нормативних змін, первинна класифікація документів: виграш у часі тут вимірюваний, не гіпотетичний. Але ілюзій бути не повинно, «купити й увімкнути» не вийде. Масштабне впровадження впирається не так у технології, як в організаційні речі. Хто і як верифікує AI-рекомендації, хто несе відповідальність; і окремий головний біль для України, звідки взяти доменні навчальні корпуси на матеріалі документів НБУ. Євроінтеграція це загострює: внутрішні процедури банку доведеться постійно звіряти з масивом ЄС-вимог, який не стоїть на місці. NLP тут не «приємний бонус», а робочий інструмент, потрібний уже зараз [5]. Подальший логічний крок, емпіричне тестування NLP-прототипу на документах НБУ; передусім для задачі виявлення колізій між внутрішніми банківськими політиками та регуляторними вимогами. Порівняльний аналіз архітектурних підходів: RAG, fine-tuned LLM, hybrid rule-based у реальному регуляторному контексті дасть конкретні практичні рекомендації щодо вибору технологічного стека. Паралельно критично важливим залишається питання інтерпретованості. Вимоги щодо прозорості та пояснюваності SupTech-рішень вже закріплені регулятором, а це прямий аргумент на користь інтерпретованих NLP-архітектур.

Список використаних джерел

1. Dongxin G., Jikun W., Siu M.Y. ComplianceNLP: Knowledge-Graph-Augmented RAG for Multi-Framework Regulatory Gap Detection. (2026). (arxiv:2604.23585) *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2604.23585>
2. Deloitte. (2025). *2025 EMEA Model Risk Management Survey*. Retrieved from <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-zone2/dk/en/docs/generic/2025/2025-emea-model-risk-management-banks-orig.pdf>
3. EY-Parthenon. (2025). *AI in banking: GenAI survey insights*. EY Global. Retrieved from https://www.ey.com/en_us/insights/banking-capital-markets/ai-in-banking-ey-parthenon-genai-survey-insights

4. Moody's Analytics. (2025). *Navigating the AI Landscape: Insights and opportunities for compliance and risk management professionals*. Moody's Analytics. Retrieved from <https://www.moody's.com/web/en/us/site-assets/ma-kyc-navigating-the-ai-landscape-report.pdf>
5. National Bank of Ukraine. (2025). *Green paper on RegTech and SupTech development*. National Bank of Ukraine. Retrieved from https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Zelena_knyga_2025_en.pdf

Володимир КУЛАЖЕНКО

кандидат економічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-3535-3442)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Анастасія БІБІКОВА

студент
(orcid.org/0009-0009-0476-5346)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ УКРАЇНОМОВНИХ ТЕКСТІВ

Стрімкий розвиток цифрових платформ різного профілю зумовив різке зростання обсягів письмового контенту, у тому числі, і українською мовою. Разом з цим, вимоги до такого контенту суттєво зменшились. В результаті такого процесу, населення втрачає навичку писати структурований логічний текст без великої кількості орфографічних та стилістичних помилок. Відсутність такої навички стає великою проблемою в науковій та академічній діяльності, де ці навички необхідні.

Для роботи зі всім об'ємом текстів, спеціалісту, який працює у науковій або освітній сфері, потрібно багато часу. Ручна експертна оцінка таких масивів є трудомісткою, суб'єктивною та практично нездійсненною. Водночас переважна більшість існуючих інструментів автоматизованого аналізу тексту орієнтована на англійську мову. Вони не враховують морфологічної складності, силабічної структури та лексичних особливостей української.

Для вирішення цієї проблеми було вирішено розробити прототип системи автоматизованої оцінки якості письмового україномовного тексту на основі набору лінгвістичних метрик з обчисленням інтегральної числової оцінки та забезпеченням зручного веб-інтерфейсу.

Аналіз ринку засобів автоматизованої оцінки тексту виявив чітку нішу для україномовних інструментів. Hemingway Editor оцінює читабельність тексту за Automated Readability Index (ARI) [1]. Сервіс Readable.com поєднує кілька формул (ARI, Gunning Fog, SMOG, Flesch-Kincaid та інші) [10]. Однак вони працюють виключно з англomовним контентом. Grammarly поєднує статистичні та нейромережеві моделі, проте використання української мови, наразі, є лише у форматі бета-тестування [4, 9]. LanguageTool частково охоплює українську, проте зосереджується на граматичних помилках і не обчислює метрик читабельності чи лексичної різноманітності [6]. Серед вітчизняних розробок наявні лише академічні прототипи з обмеженою функціональністю.

Основним завданням цієї системи є розрахувати інтегральну числову оцінку $Q \in [0; 1]$, що відображає інтегральну якість тексту. Вона має обчислюватися як зважена лінійна комбінація нормованих балів:

$$Q = \sum_i (score_i \times w_i), \text{ де } \sum_i w_i = 1, w_i \geq 0, \quad (1)$$

На основі аналізу методів комп'ютерної лінгвістики для побудови системи обрано шість метрик (ваги підібрано на основі мінімізації похибки на еталонному корпусі текстів):

- Базова статистика (вага 0,15) – середня довжина слова та речення, обсяг тексту [2]. Вона оцінює формальні параметри через трикутну функцію відхилення від ідеальних значень.

- Лексична різноманітність (вага 0,20) – розраховується як сума TTR [12], MATTR [1] у плаваючому вікні 50 слів та частки *legomena* [12] у співвідношенні 0.6, 0.15 та 0.25 відповідно.

- Читабельність (вага 0,25) – адаптований Coleman-Liau Index [7] та Flesch Reading Ease [7] для силабічної структури української мови з ваговими коефіцієнтами 0.75 та 0.25 відповідно.

- Водність (вага 0,20) – частка слів-паразитів, кліше, повторів із власних словників [14]. Включає зниження балів за ненормативну лексику та підвищення – за академічну лексику.

- Структурованість (вага 0,20) – наявність лексичних маркерів вступу та висновку, кількість і рівномірність абзаців [3, 12].

- TF-IDF-аналіз (допоміжний, без врахування в інтегральній оцінці) – виявлення ключових термів для відображення тематичного ядра тексту [13].

Для роботи метрик сформовано три словники української мови, відповідно до їх приналежності до якості тексту: GOOD (1 587 слів у 6 категоріях), BAD (817 слів), STOP (1 983 слова) [розроблено на основі 5].

Система реалізована мовою програмування Python 3.10. Архітектура включає чотири незалежні шари: попередня обробка тексту (очищення, токенізація, підрахунок складів), обчислення метрик, агрегація та нормалізація балів, збереження результатів. В проєкті не використовувались стандартні NLP-бібліотеки (NLTK, spaCy) на користь власних реалізацій алгоритмів. Це забезпечує повну прозорість обчислень. Веб-інтерфейс побудовано на Streamlit [11] – п'ять функціональних вкладок («Аналіз», «Історія», «Словники», «Налаштування», «Про»), включно зі слайдерами для зміни ваг метрик користувачем. Результати аналізу зберігаються у локальній БД. Користувацький інтерфейс додатку зображено на рис. 1.

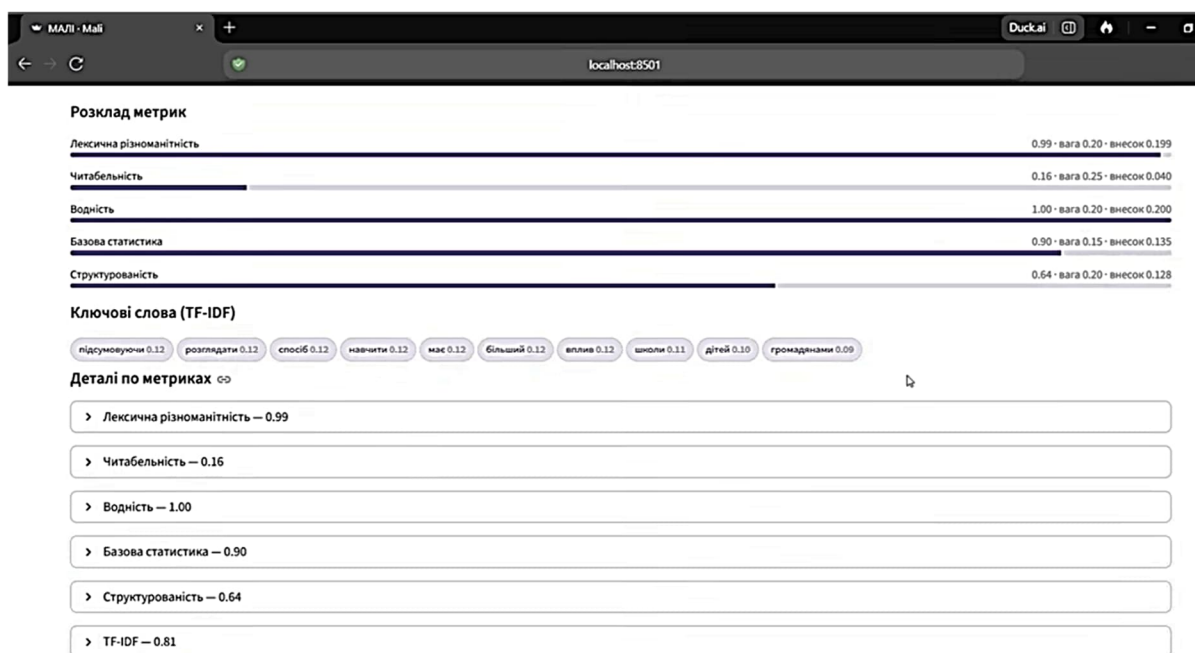


Рис. 1. Користувацький інтерфейс розробленого додатку, вкладка «Аналіз»

Систему протестовано на корпусі україномовних текстів чотирьох категорій: наукові, публіцистичні, художні та повідомлення

з соціальних мереж. Усереднені показники інтегральної оцінки якості текстів є наступними: дописи з соціальних мереж – $Q = 0.33$, публіцистичні – 0,67, наукові – $Q = 0.74$, художні – $Q = 0.80$.

Разом з тим виявлено, що Coleman-Liau Index, калібрований для англійської мови, систематично занижує бал читабельності наукових текстів через довгі слова грецько-латинського походження, характерні для академічної лексики. Аналіз чутливості до зміни ваг показав, що коригування коефіцієнтів ефективно компенсує цей ефект і відновлює очікуваний порядок оцінок.

Розроблена система реалізує прозорий, інтерпретований і розширюваний підхід до автоматизованої оцінки якості україномовних текстів на основі шести лінгвістичних метрик. Вона може застосовуватися в освітньому процесі як складова перевірки студентських та наукових, у редакційній діяльності – для контролю якості матеріалів, а також як інструмент самоперевірки авторів.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію лематизатора для усунення обмежень, пов'язаних із флективною морфологією української мови, перекалібрування індексу Coleman-Liau на україномовному корпусі, а також дослідження можливостей використання великих мовних моделей, зокрема для семантичної оцінки зв'язності та змістової повноти тексту, які не піддаються формалізації в рамках класичних числових метрик.

Список використаних джерел

1. Covington, M. A., & McFall, J. D. (2010). Cutting the Gordian Knot: The moving-average type-token ratio (MATTR). *Journal of Quantitative Linguistics*, 17(2), 94–100. <https://doi.org/10.1080/09296171003643098>
2. Crossley, S. A., Heintz, A., Choi, J. S., Batchelor, J., Karimi, M., & Malatinszky, A. (2023). A large-scaled corpus for assessing text readability. *Behavior Research Methods*, 55(2), 491–507. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01802-x>
3. Crossley, S. A., Kyle, K., & McNamara, D. S. (2016). The tool for the automatic analysis of text cohesion (TAACO): Automatic assessment of local, global, and text cohesion. *Behavior Research Methods*, 48(4), 1227–1237. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0651-7>

4. Grammarly. (2026, March 11). *Grammarly's writing support in 17 more languages*. Grammarly Blog. <https://www.grammarly.com/blog/product/multilingual-support-in-additional-languages/>
5. Kuprienko, S. (2020). *Ukrainian-Stopwords* [Software]. GitHub. <https://github.com/skupriienko/Ukrainian-Stopwords>
6. LanguageTool. (2025, March 27). *LanguageTool – Supported languages*. <https://dev.languagetool.org/languages>
7. Lee, B. W., & Yeung, J. (2023). *Traditional readability formulas compared for English*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2301.02975>
8. Long, B. (2024, October 15). What is the automated readability index? *Hemingway Editor*. <https://hemingwayapp.com/articles/readability/automated-readability-index>
9. Markovsky, Y., Mertens, T., & Mills, C. (2021, February 25). How Grammarly's NLP team is building the future of communication. *Grammarly Engineering Blog*. <https://www.grammarly.com/blog/engineering/grammarly-nlp-building-future-communication/>
10. Readable. (2026). *Readability formulas*. Readable KnowledgeBase. <https://help.readable.com/en/category/readability-formulas-1vylvl4/>
11. Streamlit. (2024). *Streamlit documentation*. <https://docs.streamlit.io>
12. Tweedie, F. J., & Baayen, R. H. (1998). How variable may a constant be? Measures of lexical richness in perspective. *Computers and the Humanities*, 32(5), 323–352. <https://doi.org/10.1023/A:1001749303137>
13. Wang, Y. (2024). Research on the TF–IDF algorithm combined with semantics for automatic extraction of keywords from network news texts. *Journal of Intelligent Systems*, 33(1), 20230300. <https://doi.org/10.1515/jisys-2023-0300>
14. Zhu, H., Wang, T., & Pang, N. (2024). Diachronic changes in lexical density of research article abstracts: A corpus-based study. *Journal of English for Academic Purposes*, 72, 101430. <https://doi.org/10.1016/j.jeap.2024.101430>

Наталія КОТЕНКО

кандидат педагогічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-2675-6514)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Андрій АЛЕКСАНДРОВ

аспірант
(orcid.org/0009-0007-5950-4886)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ СЕМАНТИЧНИХ КОНФЛІКТІВ ЗЛИТТЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ

Сучасна розробка програмного забезпечення дедалі частіше здійснюється розподіленими командами над спільною кодовою базою, до таких команд поступово долучаються й ШІ-агенти, здатні напівавтономно вносити зміни в код. Зведення розбіжних версій до спільного результату спирається на автоматичні алгоритми злиття, від точності яких залежать стабільність збірки проєкту й коректність поведінки програми. Зі зростанням взаємозалежності фрагментів коду розпізнавати лише текстові розбіжності вже недостатньо – одночасні правки у віддалених частинах програми можуть змінювати її поведінку, формально не створюючи текстового конфлікту.

Алгоритми злиття коду розрізняють за рівнем аналізу. До текстового рівня належить тристороннє злиття (three-way merge), яке працює з рядками і зіставляє спільного предка з двома похідними версіями файла, зводячи їх до єдиного результату. На синтаксичному рівні працюють структуровані та напівструктуровані стратегії, що спираються на абстрактне синтаксичне дерево (AST), у якому код подано як ієрархію вузлів, що відповідають синтаксичним конструкціям мови.

На відміну від текстового злиття, такі стратегії зберігають синтаксичну коректність об'єднаного варіанта. Поза межами обох підходів лишається семантичний рівень, де злиття не порушує синтаксису, проте може змінити поведінку програми або зруйнувати залежності між фрагментами коду [1, 2]. Такі конфлікти виявляються лише на етапі тестування або виконання.

Одним із варіантів розпізнавання семантичних залежностей є попередньо навчені нейронні моделі коду, які подають фрагмент програми у векторному просторі, наприклад CodeBERT [3]. Поряд з ними застосовують моделі, що додатково враховують структуру коду, – графові нейронні мережі або трансформери, орієнтовані на граф потоку даних [4, 8]. Обидва підходи допомагають виявляти зміни, що зачіпають логічно пов'язані елементи коду навіть тоді, коли їх внесено у віддалених частинах програми.

Окрім розпізнавання залежностей, нейронні моделі застосовують і для породження самого результату злиття. Спеціалізовані моделі, навчені на прикладах реальних злиттів, безпосередньо пропонують розв'язання конфлікту на основі трьох вхідних версій [5, 6]. Інший підхід – великі мовні моделі – не потребує спеціалізованого навчання, але також демонструє прийнятні для практичного застосування результати на семантичних конфліктах [7].

Нехай одна гілка змінює інтерпретацію параметра `timeout` функції `connect(host, port, timeout)` з мілісекунд на секунди, не торкаючись сигнатури, а інша гілка одночасно додає в іншому модулі новий виклик `connect(«api.example.com», 443, 5000)`, де передане значення розраховане на мілісекунди. Тристороннє текстове злиття об'єднує обидві зміни, оскільки їхні позиції не перетинаються. Структуроване злиття на основі AST зберігає синтаксичну валідність дерева, проте теж не виявляє неузгодженості, оскільки сигнатура збереглася, а нова й змінена ділянки лежать у різних модулях. Виявлення такої неузгодженості можливе лише на рівні, що пов'язує виклик із його оголошенням в іншому модулі та враховує семантичну інтерпретацію переданих значень, а не лише відповідність сигнатур. Саме на цей клас задач спрямовані семантичні методи на основі векторних подань і мовних моделей.

Проте розв'язання конфліктів на семантичному рівні за допомогою нейронних моделей має низку обмежень. Моделі векторного подання дають оцінку подібності, а не формальний доказ коректності, тому їхні результати потребують верифікації через тести, статичний аналіз або правила граматики мови програмування. Великі мовні моделі схильні до галюцинацій, тобто породжують синтаксично правдоподібні, але семантично хибні варіанти злиття [9]. Обчислювальна вартість запуску таких моделей на кожному злитті ускладнює їхнє інтегрування там, де час виконання критичний [9].

Поєднання текстового та структурованого злиття з нейронними компонентами утворює гібридні алгоритми, у яких кожен рівень аналізу відповідає за власний клас змін. Класичні текстові й AST-

стратегії опрацьовують локальні правки, які не виходять за межі окремого фрагмента коду, тоді як семантичний рівень бере на себе приховані залежності між фрагментами та правки, що змінюють поведінку програми без порушення синтаксису. Отже, перспективним напрямом є не заміна класичних алгоритмів злиття нейронними моделями, а їхнє поєднання в межах гібридних підходів із подальшою верифікацією результатів.

Список використаних джерел

1. Da Silva, L., Borba, P., Maciel, T., Mahmood, W., Berger, T., Moisakis, J., Gomes, A., & Leite, V. (2024). Detecting semantic conflicts with unit tests. *Journal of Systems and Software*, 214, 112070. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112070>
2. Sousa, M., Dillig, I., & Lahiri, S.K. (2018). Verified three-way program merge. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 2(OOPSLA), 165. <https://doi.org/10.1145/3276535>
3. Feng, Z., Guo, D., Tang, D., Duan, N., Feng, X., Gong, M., Shou, L., Qin, B., Liu, T., Jiang, D., & Zhou, M. (2020). CodeBERT: A pre-trained model for programming and natural languages. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020*, 1536–1547. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.findings-emnlp.139>
4. Guo, D., Ren, S., Lu, S., Feng, Z., Tang, D., Liu, S., Zhou, L., Duan, N., Svyatkovskiy, A., Fu, S., Tufano, M., Deng, S.K., Clement, C., Drain, D., Sundaresan, N., Yin, J., Jiang, D., & Zhou, M. (2021). GraphCodeBERT: Pre-training code representations with data flow. *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Representations (ICLR 2021)*. <https://openreview.net/forum?id=jLoC4ez43PZ>
5. Svyatkovskiy, A., Fakhoury, S., Ghorbani, N., Mytkowicz, T., Dinella, E., Bird, C., Jang, J., Sundaresan, N., & Lahiri, S.K. (2022). Program merge conflict resolution via neural transformers. *Proceedings of the 30th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, 822–833. <https://doi.org/10.1145/3540250.3549163>
6. Dinella, E., Mytkowicz, T., Svyatkovskiy, A., Bird, C., Naik, M., & Lahiri, S.K. (2023). DeepMerge: Learning to merge programs. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 49(4), 1599–1614. <https://doi.org/10.1109/TSE.2022.3183955>
7. Zhang, J., Mytkowicz, T., Kaufman, M., Piskac, R., & Lahiri, S.K. (2022). Using pre-trained language models to resolve textual and semantic merge conflicts (experience paper). *Proceedings of the 31st*

- ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis*, 77–88. <https://doi.org/10.1145/3533767.3534396>
8. Allamanis, M., Brockschmidt, M., & Khademi, M. (2018). Learning to represent programs with graphs. *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Representations (ICLR 2018)*. <https://openreview.net/forum?id=BJOFETxR->
9. Hou, X., Zhao, Y., Liu, Y., Yang, Z., Wang, K., Li, L., Luo, X., Lo, D., Grundy, J., & Wang, H. (2024). Large language models for software engineering: A systematic literature review. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 33(8), 220. <https://doi.org/10.1145/3695988>

Микола МІГАЙ

студент

(orcid.org/0009-0001-4710-0709)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Тетяна ФІЛІМОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент

(orcid.org/0000-0001-9467-0141)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АНОМАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ З КРЕДИТНИМИ КАРТКАМИ

У сучасному світі стрімкий розвиток цифрової економіки та електронної комерції призвів до експоненціального зростання обсягів безготівкових розрахунків. Разом із цим пропорційно зростає кількість кіберзлочинів, зокрема шахрайства з кредитними картками. Традиційні системи виявлення шахрайства, що базуються на жорстких експертних правилах, стають менш ефективними через постійну еволюцію методів зловмисників та нездатність адаптуватися до нових патернів у реальному часі. Вирішенням цієї проблеми є застосування методів машинного навчання, які здатні автоматично аналізувати великі масиви історичних даних (суми транзакцій, географічне розташування, час, категорії покупок тощо), виявляти

приховані закономірності та ефективно класифікувати транзакції на легітимні та аномальні. Це зумовлює актуальність даного дослідження як з наукової, так і з практичної точок зору.

Мета даного дослідження розробити, навчити та оцінити ефективність прогностичних моделей на основі алгоритмів машинного навчання, а також знайти найефективнішу модель для автоматизованої, швидкої та високоточної ідентифікації аномальних операцій з кредитними картками з метою мінімізації фінансових втрат.

Основою для моделювання є набір даних, що містить 339 607 записів та 15 атрибутів (часові, географічні, категоріальні). Але було виявлено екстремальний дисбаланс класів – шахрайські транзакції становлять лише 0,52% (1 782 випадки проти 337 825 легальних). Для підвищення прогностичної здатності моделей простір ознак було розширено до 25 числових змінних шляхом комплексного конструювання нових предикторів. Процес включав просторово-часові трансформації (виділення години, дня тижня, індикатора нічних транзакцій, розрахунок віку клієнта та точної географічної відстані між терміналом і клієнтом за формулою гаверсинусів), а також профілювання поведінки користувачів (Velocity Features) за допомогою ковзних вікон для підрахунку активності за останні 1 та 24 години. Додатково було обчислено статистичні відхилення, зокрема Z-оцінку поточної транзакції на основі 7-денної історії витрат та відношення суми операції до середнього чека в конкретній категорії. На завершальному етапі категоріальні дані адаптовано за допомогою методу One-Hot Encoding, що дозволило отримати повністю оцифрований та очищений масив, готовий для навчання алгоритмів машинного навчання.

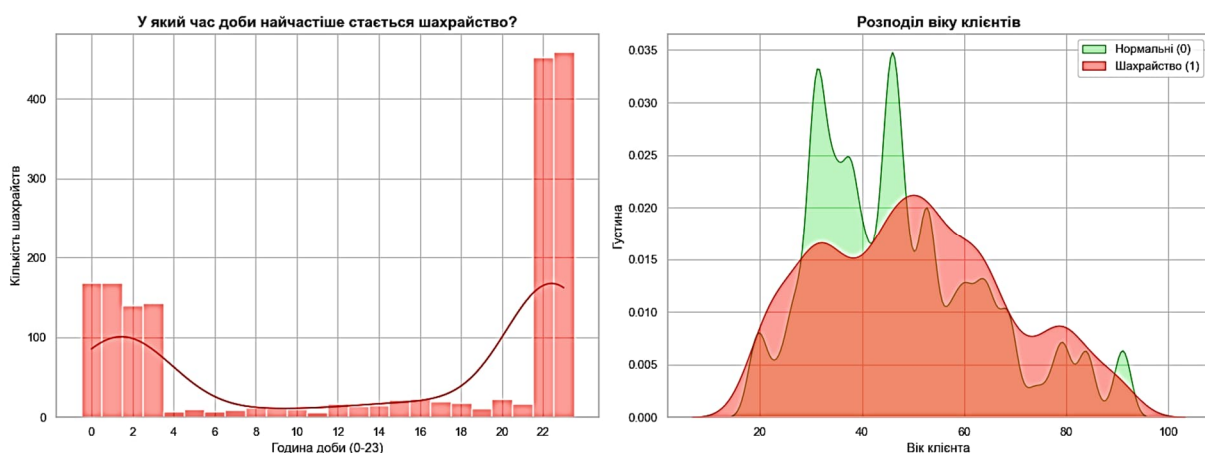


Рис. 1. Розподіл шахрайських операцій за годинами доби та віком клієнтів

На рис. 1 зображено два графіки: зліва – розподіл кількості шахрайських операцій за годинами доби, де видно пікову активність у нічний час (близько 22–23 години), справа – розподіл віку клієнтів, який показує, що шахрайство частіше трапляється серед клієнтів середнього та старшого віку порівняно з нормальною групою. На етапі моделювання протестовано 12 алгоритмів класифікації. Враховуючи специфіку задачі, головним критерієм відбору стала метрика повноти (Recall) для мінімізації пропуску шахрайських операцій, за умови збереження високої точності (Precision). Тестування підтвердило абсолютну перевагу методів градієнтного бустингу над традиційними алгоритмами. Найкращу здатність виявляти шахрайство продемонстрували LightGBM (Recall = 0.949) та CatBoost (Recall = 0.941). Проте найоптимальніший баланс якості та швидкості показав XGBoost: він забезпечив найвищий F1-score (0.870) при високому Recall (0.910) та рекордно швидкому навчанні (0.96 сек.). Ці три алгоритми (XGBoost, CatBoost, LightGBM) відібрано як найкращих претендентів для подальшого гіперпараметричного тюнінгу.

Таблиця 1

Порівняння ефективності базових моделей машинного навчання (відсортовано за Recall)

Модель	Повнота (Recall)	Точність (Precision)	F1- score	Час навчання (сек)
LightGBM	0.949	0.571	0.713	2.32
CatBoost	0.941	0.616	0.744	3.08
Extra Trees	0.933	0.104	0.187	3.69
XGBoost	0.910	0.833	0.870	0.96
Decision Tree	0.893	0.289	0.437	2.42
Logistic Regression	0.885	0.077	0.142	0.60
Random Forest	0.879	0.548	0.675	6.12
HistGradient (Fast)	0.798	0.937	0.862	5.69
Bagging Classifier	0.756	0.921	0.830	8.55
Naive Bayes	0.736	0.161	0.264	0.15
Gradient Boosting	0.713	0.864	0.782	71.83
KNN	0.626	0.907	0.741	17.44

Виявлені На завершальному етапі дослідження було проведено гіперпараметричний тюнінг відібраних моделей-претендентів для максимізації їхньої прогностичної здатності. Фінальне тестування оптимізованих алгоритмів на відкладеній вибірці (67 922 транзакцій, з яких 356 – шахрайські) беззаперечно підтвердило перевагу алгоритму XGBoost.

Як свідчать дані порівняльної аблиці 2, після налаштування гіперпараметрів модель XGBoost продемонструвала найкращий баланс метрик для класу аномалій. Точність (Precision) зросла з 0.83 до 0.89 при збереженні високої повноти (Recall = 0.91), що дозволило досягти максимального значення F1-score на рівні 0.90. Оптимізована модель LightGBM також показала значний якісний стрибок (точність зросла з 0.57 до 0.85), проте за загальною ефективністю (F1 = 0.88) поступилася лідеру.

Таблиця 2

Порівняння ефективності моделей-лідерів до та після гіперпараметричного тюнінгу

Модель	Етап	Повнота (Recall)	Точність (Precision)	F1-score
LightGBM	Базова	0.95	0.57	0.71
	Оптимізована	0.90	0.85	0.88
XGBoost	Базова	0.91	0.83	0.87
	Оптимізована	0.91	0.89	0.90

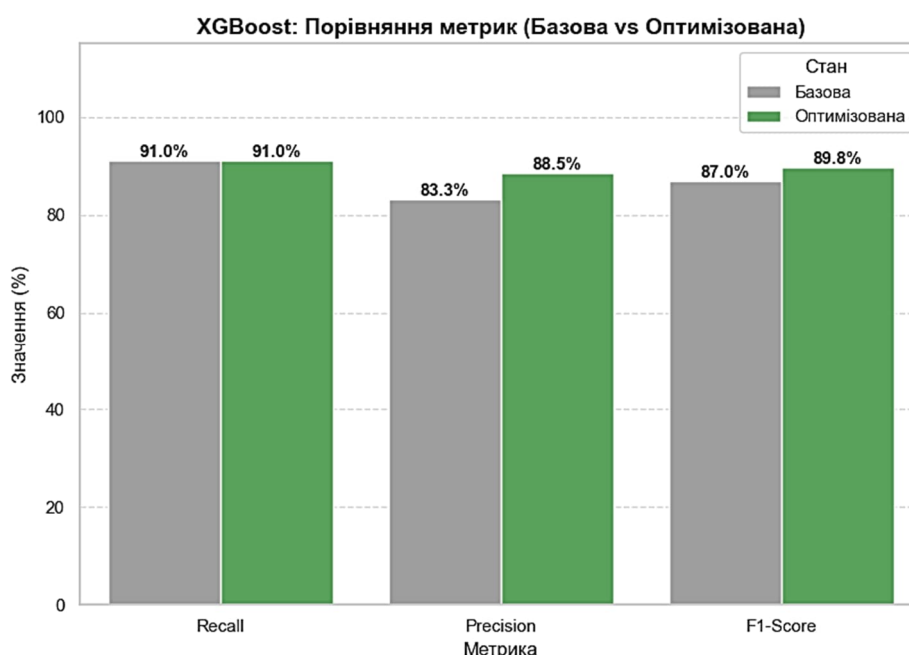


Рис. 2. Порівняння метрик (Базова vs Оптимізована) для XGBoost

Фінальним і найефективнішим рішенням для ідентифікації аномальних операцій з кредитними картками визнано оптимізовану модель XGBoost. Вона здатна успішно виявляти 91% усіх шахрайських транзакцій, при цьому забезпечуючи мінімальну кількість хибних спрацьовувань (лише 11% від заблокованих операцій є легальними), що є максимально важливим для мінімізації фінансових втрат та збереження лояльності клієнтів у реальних банківських антифрод-системах.

Список використаних джерел

1. Saxena, A. (2022). Credit card fraud detection using machine learning and data science. *International Journal for Science Technology and Engineering*, 10(12), 1890–1898. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.48293>
2. Udeze, C. L., Eteng, I. E., & Ibor, A. E. (2022). Application of machine learning and resampling techniques to credit card fraud detection. *Journal of Nigerian Society of Physical Sciences*, 769. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2022.769>
3. Martinez, O., Sánchez, P., & Alcaraz, E. (2025). A review of machine learning and deep learning approaches for fraud detection across financial and supply chain domains. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7893661/v1>
4. Makolo, A., & Adeboye, T. (2021). Credit card fraud detection system using machine learning. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 13(4), 24–37. <https://doi.org/10.5815/IJITCS.2021.04.03>
5. Meenu, S. G., et al. (2020). Anomaly detection in credit card transactions using machine learning. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.21276/IJIRCST.2020.8.3.5>
6. Fok, J. L., et al. (2025). Foe for fraud: Transferable adversarial attacks in credit card fraud detection. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2508.14699>
7. Kaggle. (n.d.). Credit card fraud dataset. Retrieved April 14, 2026, from <https://www.kaggle.com/datasets/dhruvb2028/credit-card-fraud-dataset>

Oleksii TSESLIUK

PhD student

(orcid.org/0009-0002-2958-3783)

State University of Trade and Economics

Kyiv, Ukraine

A LOCAL RAG-BASED SYSTEM FOR HEURISTIC UX EVALUATION

Heuristic evaluation, formulated by Nielsen and Molich (1990), remains the most widely used method for assessing the usability of user interfaces. The procedure relies on trained evaluators who inspect an interface against a set of established principles and produce severity ratings, problem descriptions, and recommendations. Despite four decades of practice, the procedure exhibits a well-documented limitation: trained evaluators reviewing identical interfaces produce divergent assessments, a phenomenon formally described as the evaluator effect, in which the most widely used usability evaluation methods *«suffer from a substantial evaluator effect in that multiple evaluators evaluating the same interface with the same UEM detect markedly different sets of problems»* (Hertzum & Jacobsen, 2001, p. 421).

Professional usability audits remain resource-intensive, qualified evaluators are in limited supply, and as a result systematic heuristic evaluation is frequently omitted from product development cycles. Existing public datasets that map user interface screenshots to evaluation data (RICO, CLAY, UICrit, Enrico) do not include structured assessments against the complete set of Nielsen heuristics. The scientific problem addressed by the present research is therefore the absence of structured, machine-readable corpora of expert evaluations that would permit data-driven support of the heuristic evaluation procedure. The aim of the present research is to design a data-driven system that reconstructs expert judgement on a user interface from accumulated past evaluations, supporting the delivery of higher-quality interfaces while reducing the effort required from design and development teams. The aim is pursued through the following objectives: to formalise an expert annotation protocol that produces structured records suitable for subsequent analysis; to construct a curated corpus of human-authored evaluations across the ten

heuristics; to select and combine data analysis methods that operate on the structure of the collected data; and to design a retrieval-based inference layer that produces a draft evaluation for a new screenshot while preserving the integrity of the human-authored corpus For each of the ten heuristics, the evaluator inspects the screenshot for violations, assigns an ordinal severity from 0 to 4 with anchors adapted from Nielsen (1994), marks the affected region, and records free-text problem and fix descriptions together with a confidence level.

Table 1

Observable indicators and typical violations

Heuristic	Observable Indicators	Typical Violations
H1. Visibility of system status	Loading indicators, progress bars, confirmation messages, active nav highlights	No feedback after action; missing progress indicator; ambiguous state
H2. Match with real world	Domain terminology, familiar icons, logical ordering	Technical jargon in consumer UI; unconventional icon semantics
H3. User control and freedom	Undo/redo, cancel, exit paths, back navigation	No undo for destructive actions; forced flows without escape
H4. Consistency and standards	Uniform styling, consistent terminology, platform conventions	Mixed button styles; inconsistent terms across views
H5. Error prevention	Input constraints, confirmations, defaults, inline validation	Free text where selection prevents errors; no delete confirmation
H6. Recognition over recall	Visible options, tooltips, breadcrumbs, autocomplete	Hidden navigation; no search for long lists
H7. Flexibility and efficiency	Keyboard shortcuts, customisation, batch operations	No keyboard nav; no shortcuts for frequent tasks
H8. Aesthetic minimalism	Visual hierarchy, whitespace, information density	Cluttered layouts; decorative elements obscuring content
H9. Error recovery	Error message clarity, proximity, recovery suggestions	Generic codes; messages far from trigger; no corrective action
H10. Help and documentation	Searchable help, contextual tooltips, onboarding	No help for complex features; external only docs

Each evaluation produces one record per heuristic per screenshot, comprising nine fields: *screenshot_id*, *heuristic_id*, *severity*, *confidence*, *affected_region*, *problem_description*, *fix_recommendation*, *evaluator_id*, *timestamp*. Inter-rater reliability is measured using Fleiss kappa and Krippendorff alpha (Krippendorff, 2011), with the threshold $\alpha \geq 0.667$ and calibration sessions preceding the main annotation phase. Table 1 presents the observable indicators that operationalise each heuristic.

The system operates in two phases. **Phase 1 (Expert Data Collection)** functions as a structured annotation environment. The expert evaluator uploads a screenshot and completes a structured evaluation form for each of the ten Nielsen heuristics; the form is implemented in a React frontend coupled with a Label Studio annotation backend. Each completed evaluation is persisted in the annotation corpus (PostgreSQL for structured records, S3-compatible object storage for screenshots), from which audit reports may be exported. **Phase 2 (Retrieval-Based Inference)** operates on the corpus accumulated in Phase 1 and is implemented as a retrieval-augmented generation (RAG) pipeline (Lewis et al., 2020), in which a generative component is constrained by content retrieved from an external corpus rather than relying on its parametric memory alone. For a newly uploaded screenshot, a visual encoder (CLIP; Radford et al., 2021) produces a vector representation, nearest-neighbour similarity search (FAISS; Johnson, Douze, & Jégou, 2021) returns the most relevant past evaluations from the corpus, and two data analysis methods are applied in parallel.

The first method, k-means clustering (scikit-learn; Pedregosa et al., 2011), is applied to the sentence-level embeddings of the free-text fields (*problem_description* and *fix_recommendation*), with embeddings produced by a Sentence-BERT encoder (Reimers & Gurevych, 2019). Recurring sub-types of violations within each heuristic are surfaced as cluster centroids, and the dominant centroid among the retrieved neighbours determines the suggested text fields of the draft evaluation. The number of clusters is selected via the elbow method and silhouette coefficient. The methodological selection of k-means follows the approach of Kharlamova, Roskladka, Roskladka, Stavitsky, and Zabaldina (2021), in which the same algorithm was applied to multidimensional indicator vectors for the classification of economic regions; the structural similarity of the present problem (clustering of vectorised entities without predefined class labels) justifies the same algorithmic choice.

The second method, Apriori association rule mining (Agrawal & Srikant, 1994), is applied to the binary violation matrix of the full annotation corpus. Each screenshot is treated as a transaction, and each heuristic with severity ≥ 2 is treated as an item. Rules satisfying support $\geq 25\%$ and confidence $\geq 70\%$, ranked by the product $S \times C$, surface cross-heuristic co-occurrence patterns invisible to similarity search alone. Fig. 2 presents the input matrix and the resulting rules for an illustrative set of 20 annotated screenshots, computed following the procedure of the practical work performed in the course Methods and Technologies of Data Science under Prof. A. Roskladka. Patterns expected to be observed in the collected corpus include $H4 \rightarrow H6$ (88.9%), $H5 \rightarrow H9$ (100%), and $H8 \rightarrow H4$ (100%).

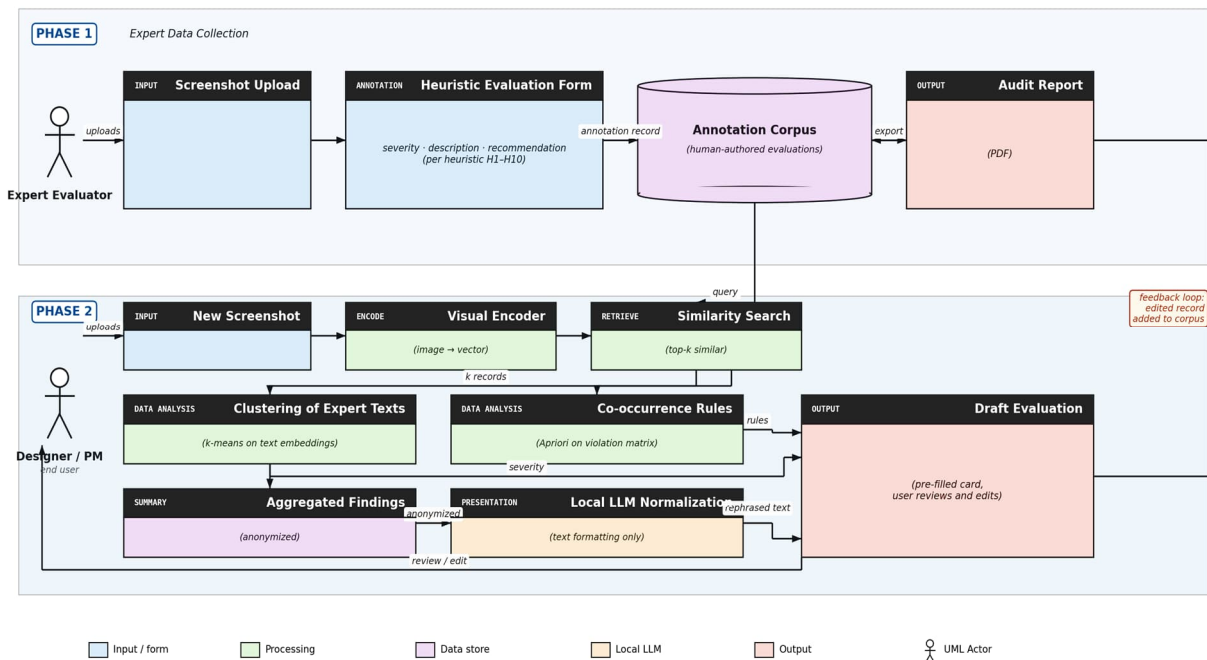


Fig. 1. Proposed two-phase architecture: Phase 1 collects structured expert evaluations into the annotation corpus; Phase 2 applies retrieval and data analysis to produce a draft evaluation for a new screenshot

The aggregated findings produced by k-means and Apriori are passed through a local large language model (Ollama runtime serving Llama 3.1 or Mistral 7B) whose role is restricted to text normalisation.

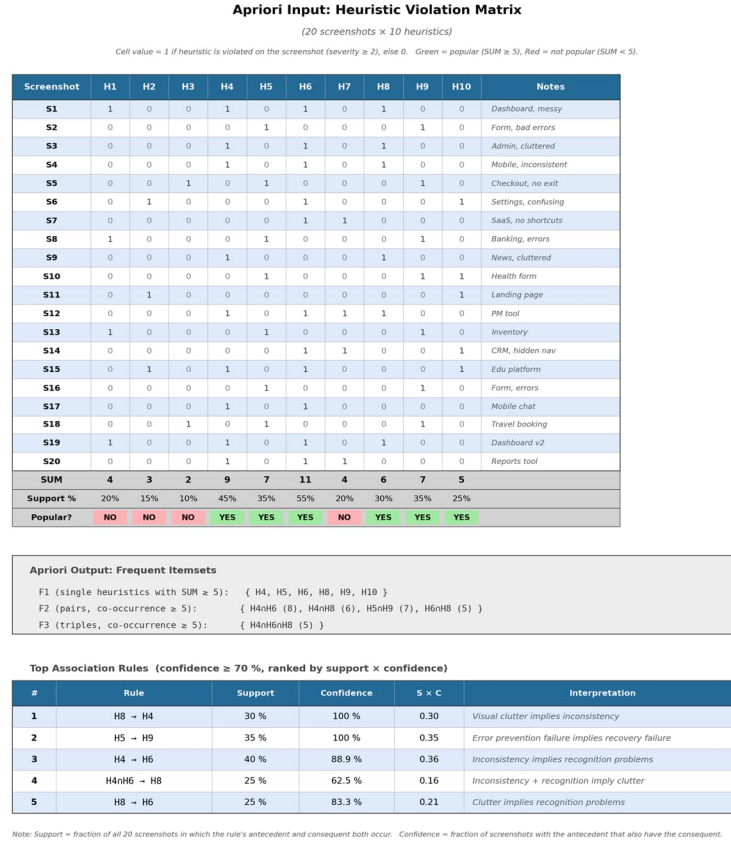


Fig. 2. Apriori input matrix (20 screenshots × 10 heuristics), frequent itemsets, and top association rules ranked by support × confidence. Cell value 1 indicates that the corresponding heuristic was violated with severity ≥ 2

The model receives only anonymised, pre-aggregated input (cluster centroids and rule summaries) and never the raw annotation records. The prompt is fixed: «Rephrase these findings into coherent text. Do not add new information.» A semantic-similarity validation layer rejects any content not present in the input. The language model is stateless, without conversation history or fine-tuning on project data. The auto-filled draft evaluation is presented to the user, who may accept, modify, or override any field; only the user-edited version is persisted as a new annotation record. Language-model output is never written to the corpus, which enforces the data purity principle and prevents the circular contamination by which a model would otherwise be trained on its own outputs (Shumailov et al., 2024).

The local LLM receives only the anonymised, pre-aggregated summary, never the raw records. The prompt is fixed: «Rephrase these findings into coherent text. Do not add new information.» A semantic similarity validator compares the LLM output against the input and rejects anything new the model invented. The LLM is stateless: no conversation

history, no fine tuning on my data. The user reviews the auto-filled form and can accept, change, or replace any field; only the user’s edited version is saved as a new record. LLM rephrasings are never written to the dataset. This is how we keep the data purity rule: even though I use an LLM for presentation, the corpus stays human only, which avoids the model-collapse trap described by Shumailov et al. (2024).

Four results have been obtained at the present stage. The expert annotation protocol covering all ten Nielsen heuristics has been formalised, with the nine-field record schema and observable indicators listed in Table 1. The data analysis pipeline has been specified: k-means clustering of text embeddings and Apriori association rule mining are combined within a retrieval-based inference flow, with the latter validated on an illustrative dataset of 20 screenshots (Fig. 2). The architecture presented in Fig. 1 has been designed with explicit data isolation rules that prevent contamination of the human-authored corpus by language-model output. The inter-rater reliability framework has been established on the basis of Fleiss kappa and Krippendorff alpha (Krippendorff, 2011), with the threshold $\alpha \geq 0.667$ adopted for the main annotation phase. The present research extends earlier work on computer modelling of an inclusive accessibility checker for evaluating system interfaces (Tsesliuk, 2024) by introducing a retrieval-based inference layer over a structured expert corpus.

The architecture presented above constitutes a proposal that addresses the absence of structured corpora of expert evaluations of user interfaces. The proposed solution is brought to the conference prior to implementation in order to obtain expert feedback on three specific design decisions on which the research direction depends.

(1) Is CLIP the right choice for UI screenshots? CLIP was trained on natural photographs, not on user interfaces. A fine-tuned DINOv2 or a UI-specific encoder trained on the RICO dataset would likely retrieve more accurately, at the cost of substantially higher annotation effort. Expert opinion is sought on whether the project should commence with CLIP and substitute a domain-adapted encoder later, or whether encoder adaptation should be undertaken from the outset.

(2) Is retrieval-based generation justified here, or is the architecture over-engineered? A simpler alternative is available: nearest-neighbour search followed by direct presentation of the most similar past expert record, without aggregation, clustering, or language-model normalisation. It is not yet established whether the proposed pipeline yields better evaluations than the simpler alternative or merely introduces additional complexity.

(3) Is the local LLM worth the risk? Concatenation of raw expert fragments produces less readable output but carries no risk of hallucination. The LLM provides coherent prose at the cost of introducing a new failure mode. Critical input is welcomed prior to substantial implementation effort, on whether the readability gain justifies the hallucination risk, or whether a leaner pipeline should be preferred until empirical validation is performed.

References

1. Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules. In *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases* (pp. 487-499). Morgan Kaufmann.
2. Hertzum, M., & Jacobsen, N. E. (2001). The evaluator effect: A chilling fact about usability evaluation methods. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(4), 421-443. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1304_05
3. International Organization for Standardization. (2018). *Ergonomics of human-system interaction. Part 11: Usability: Definitions and concepts* (ISO 9241-11:2018). <https://www.iso.org/standard/63500.html>
4. International Organization for Standardization. (2019). *Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centred design for interactive systems* (ISO 9241-210:2019). <https://www.iso.org/standard/77520.html>
5. Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2021). Billion-scale similarity search with GPUs. *IEEE Transactions on Big Data*, 7(3), 535-547. <https://doi.org/10.1109/TBDDATA.2019.2921572>
6. Kharlamova, G., Roskladka A., Roskladka N., Stavytskyy, A., & Zabaldina, Y. (2021). Investment attractiveness of regions of Ukraine: Rating and clustering approach. In *ICTERI 2021 Workshops Proceedings* (pp. 396-408). CEUR-WS.
7. Krippendorff, K. (2011). Computing Krippendorff's alpha-reliability. *Departmental Papers (ASC)*, 43. University of Pennsylvania.
8. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., et al. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459-9474.
9. Nielsen, J. (1994). Severity ratings for usability problems. *Nielsen Norman Group*. <https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems/>

10. Nielsen, J., & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 249-256). ACM. <https://doi.org/10.1145/97243.97281>
11. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830.
12. Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., et al. (2021). Learning transferable visual models from natural language supervision. In *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning* (pp. 8748-8763). PMLR.
14. Shumailov, I., Shumaylov, Z., Zhao, Y., Papernot, N., Anderson, R., & Gal, Y. (2024). AI models collapse when trained on recursively generated data. *Nature*, 631, 755-759. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07566-y>
15. Tsesliuk, O. (2024). *Computer modelling of an inclusive accessibility checker for evaluating system interfaces* [Master's thesis, State University of Trade and Economics]. <https://ur.knute.edu.ua/items/f09bd92c-54d5-4acd-a500-cba69c810304>

Валерій ДОМАРЄВ

кандидат технічних наук, доцент
(orcid.org/0009-0009-5668-4070)

ПрАТ «Діпрозв'язок»
м. Київ, Україна

Юрій ХЛАПОНІН

доктор технічних наук, професор
(orcid.org/0000-0002-9287-0817)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНСТРУМЕНТ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) є фундаментальною умовою національної безпеки та економічної стабільності, особливо в умовах зростання гібридних загроз. Сучасні ОКІ (енергомережі, транспортні системи, об'єкти водопостачання)

являють собою складні кіберфізичні системи, захист яких вимагає комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні та управлінські заходи.

На практиці, при створенні систем кіберзахисту ОКІ, фахівці стикаються з необхідністю імплементації вимог широкого спектру міжнародних та галузевих стандартів: ISO/IEC 27001 (менеджмент інформаційної безпеки), NIST Cybersecurity Framework (кібербезпека), IEC 62443 (безпека промислових систем автоматизації), ISO 31000 (управління ризиками) та інших.

Кожен з цих стандартів пропонує власну таксономію, підходи до оцінки ризиків та набори контрзаходів. Це створює фундаментальну наукову проблему: відсутність уніфікованої методології для інтеграції цих різномірних вимог у єдину, несуперечливу та формалізовану архітектуру безпеки ОКІ. Існуючі підходи, як правило, є «реактивними» та зосередженими на виконанні окремих пунктів стандартів, а не на створенні цілісної, прогнозованої та адаптивної системи.

Сучасні інструменти моделювання загроз або системи управління подіями безпеки (SIEM) працюють з даними на технічному рівні, але не інтегровані з логікою прийняття управлінських рішень, закладеною в стандартах.

Подолання цих обмежень вимагає створення нової наукової методології, яка б дозволила представити знання про ОКІ, загрози, вразливості, контрзаходи та вимоги стандартів у єдиному, багатовимірному просторі. Така методологія має забезпечувати формальний зв'язок між технічним рівнем (мережеві пакети, логи, події) та стратегічним рівнем (політики безпеки, бізнес-ризик, вимоги регуляторів).

Головною метою цієї роботи є представлення DOMAREV AI MATRIX™ як саме такої методології та інструменту. Ми маємо на меті довести, що логіко-лінгвістична 3D-тензорна модель здатна виступити інтеграційним ядром для створення систем кіберзахисту ОКІ, які відповідають вимогам провідних міжнародних стандартів, забезпечуючи при цьому адаптивність, прогнозованість та цілісність.

У цьому дослідженні DOMAREV AI MATRIX™ виступає не просто як інструмент або програмне забезпечення, а як фундаментальна наукова методологія пізнання, аналізу та синтезу складних систем знань у сфері кібербезпеки.

DOMAREV AI MATRIX™ базується на представленні знань про систему кіберзахисту у вигляді тривимірної логіко-лінгвістичної тензорної моделі формату $4 \times 7 \times Z$. Цей підхід дозволяє подолати обмеження площинних (2D) класифікацій, додаючи вимір глибини (Z) для врахування контексту, динаміки та вимог різних стандартів.

Методологія передбачає два основні етапи:

1. Декомпозиція: Будь-який елемент системи кіберзахисту (наприклад, подія від IDS, вимога стандарту, вразливість, політика безпеки) описується шляхом проєкції на конкретну координату (X, Y, Z). Наприклад, координата (X2, Y3, Z1) фіксує знання про загрозу (X2) з точки зору логіки виявлення (Y3) у контексті стандарту IEC 62443 (Z1).

2. Синтез та трасування (Traceability): Матриця дозволяє простежити траєкторію впливу в усіх вимірах. Зміна в одній комірці (наприклад, виявлення нової вразливості X3) автоматично дозволяє визначити, які загрози (X2) вона активує, які контрзаходи (X4) мають бути застосовані, як це вплине на загальний ризик (Y1) та чи порушує це вимоги стандарту (Y2, Z). Це створює основу для адаптивного управління безпекою в реальному часі.

У роботі вперше запропоновано та науково обґрунтовано застосування DOMAREV AI MATRIX™ як цілісної наукової методології та інструменту для створення систем кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури. Розроблена логіко-лінгвістична 3D-тензорна модель (4×7×Z) дозволяє ефективно інтегрувати технічні знання про об'єкт захисту з логікою управління безпекою та вимогами провідних міжнародних стандартів (IEC 62443, NIST CSF, ISO/IEC 27001). Ключовим науковим результатом є формальний апарат, який забезпечує наскрізну трасуємість впливу будь-якого елемента системи (від технічної вразливості до вимоги стандарту) на загальний рівень безпеки. Це долає фундаментальний розрив між технічним, управлінським та регуляторним вимірами кібербезпеки, створюючи підґрунтя для побудови проактивних, адаптивних та цілісних систем захисту OKI.

Список використаних джерел

1. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements.
2. IEC 62443-3-3:2013. Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels.
3. National Institute of Standards and Technology. (2018). Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, Version 1.1. (NIST Cybersecurity Framework).
4. Shostack, A. (2014). Threat Modeling: Designing for Security. John Wiley & Sons.
5. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero Trust Architecture. (NIST Special Publication 800-207).

Андрій КОЛЯДА

аспірант

(orcid.org/0009-0001-4625-4976)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВІДБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД

За оцінками Світового банку та ООН (RDNA5), загальна вартість відбудови інфраструктури України за наступне десятиліття сягає 587,7 млрд дол. США. На рис. 1 показано, що найбільші потреби зосереджені в інфраструктурних секторах (енергетика, транспорт, водопостачання – 218,9 млрд дол.) та соціальних секторах (житло, освіта, охорона здоров'я, соціальний захист – 201,2 млрд дол.). Прямі фізичні збитки оцінено у 195,1 млрд дол., економічні втрати – у 666,7 млрд дол. [3].

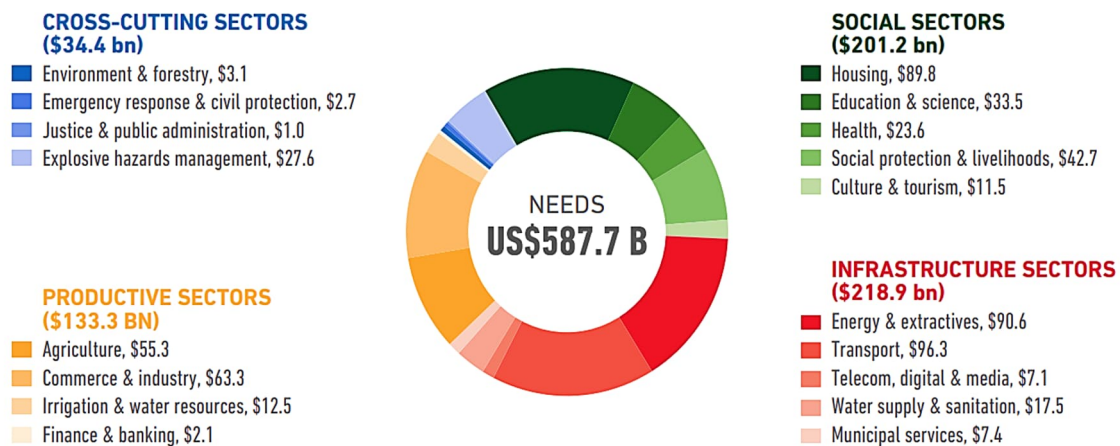


Рис. 1. Потреби у відновленні інфраструктури України за секторами [3]

Руйнування мають системний характер: атак зазнають цілі комплекси, а ризики їх відновлення є взаємопов'язаними. Традиційні методи аналізу ризиків (матриці ризиків, аналіз чутливості, дерева рішень) розглядають загрози ізольовано та не здатні моделювати каскадні ефекти, коли збій в одній підсистемі спричиняє ланцюг проблем в інших [4].

Концептуальну модель, яка інтегрує ці рівні, збір даних, імовірнісну оцінку та сценарне моделювання, наведено на рис. 2.

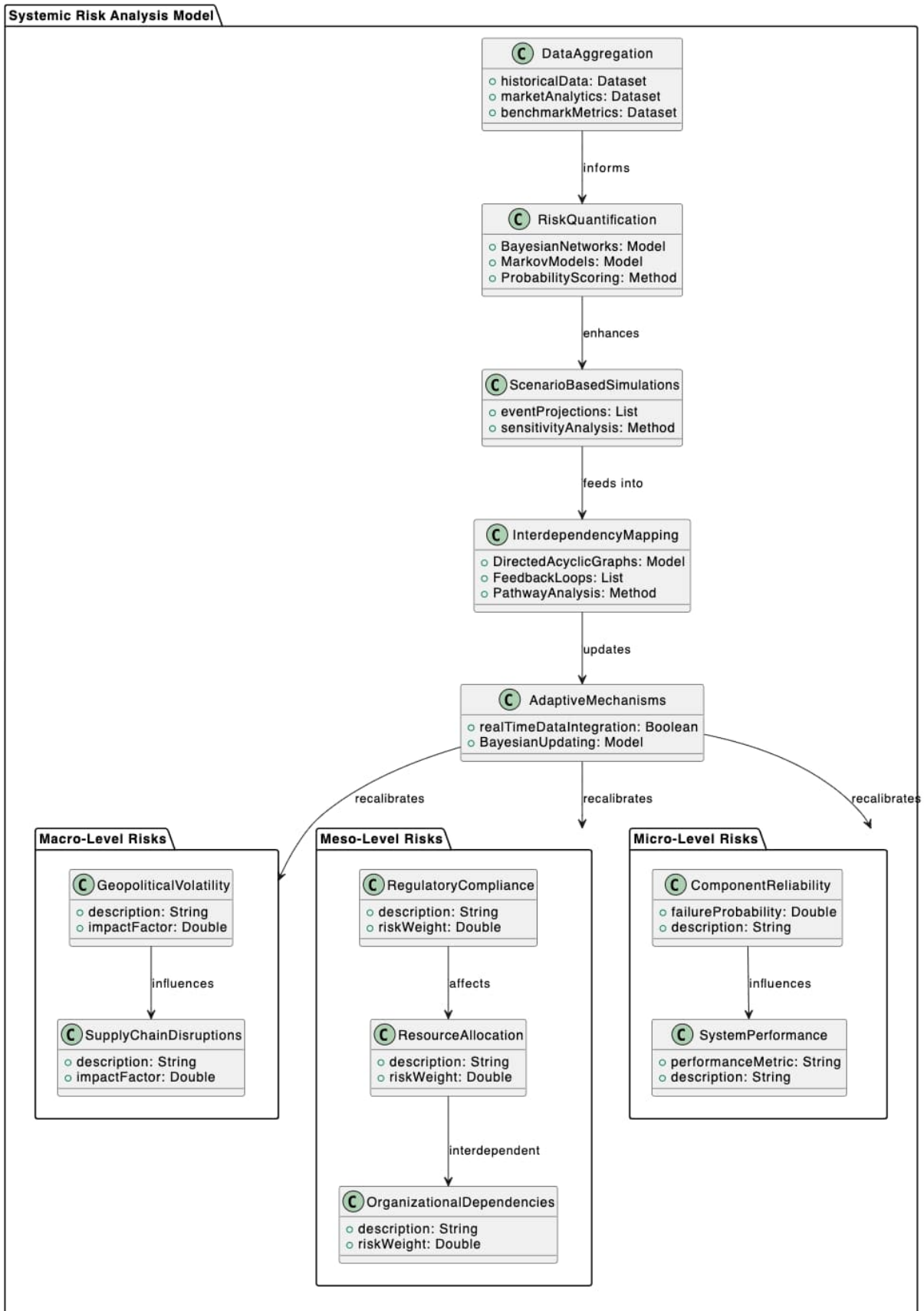


Рис. 2. Концептуальна модель системного аналізу ризиків інфраструктурних проєктів

Кількісно ризик можна описати як функцію трьох складових: факторів ризику (F_R), вагомості (W_R) та імовірності настання (P_R):

$$f(R) = \{F_R; W_R; P_R\} \quad (1)$$

Пропонований підхід розглядає інфраструктурний проєкт як трирівневу систему: макрорівень (геополітичні ризики, макроекономічна нестабільність), мезорівень (галузеві політики, логістика, ринок праці) та мікрорівень (технічні рішення, надійність підрядників).

Як правило, для кількісної оцінки ризиків у межах моделі комбінуються методи: сценарний аналіз (виявлення високовпливових подій), імовірнісне моделювання (Байєсівські мережі) та системна динаміка (моделювання зворотних зв'язків) [2, 5].

Як показано в роботі Bakhtiari S. et al. [1], Байєсівські мережі забезпечують високу точність оцінки (до 90%) та можливість оновлення в реальному часі, але вимагають якісних даних, яких в умовах воєнного стану може бракувати через секретність пошкоджень або обмежений доступ до окремих територій. Системна динаміка найкраще відображає складні залежності, зокрема, як затримка фінансування через простоту впливає на кінцеву вартість проєкту. Жоден метод не є універсальним, тому рекомендовано використовувати гібридний підхід.

Наприклад: на першому етапі – сценарний аналіз для ідентифікації ризиків, на другому – імовірнісне моделювання та системна динаміка для кількісної оцінки. Це дозволяє виявити критичні точки взаємодії ризиків на ранніх стадіях проєкту, своєчасно перерозподілити ресурси та уникнути каскадних збоїв.

Подальші дослідження спрямовані на програмну реалізацію запропонованої моделі з урахуванням проблем якості даних, типових для повоєнних умов.

Список використаних джерел

1. Bakhtiari, S., Najafi, M. R., Goda, K., & Peerhossaini, H. (2025). A dynamic Bayesian network approach to characterize multi-hazard risks and resilience in interconnected critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, 257, 110815. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.110815>
2. Kobylkin, D., & Pavuk, I. (2023). Моделювання процесів тактичного управління ризиками в інфраструктурних проєктах, програмах та портфелях проєктів. Вісник Львівського державного університету

- безпеки життєдіяльності, 28, 14-23. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.02>
3. The World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, & the United Nations. (2026). *Ukraine – Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5)*. ReliefWeb. <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fifth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna5-february-2022-december-2025>
4. Терент'єва, А. (2018). Системний аналіз як метод ухвалення рішень. Публічне урядування, 5 (15), 255-264. <https://doi.org/10.32689/2617-2224-2018-15-5-255-264>
5. Шевчук, І., & Омельчук, Л. (2023). Системний аналіз сфери економічної безпеки України в умовах обмеженості ресурсів у контексті політики сталого розвитку. *Socio-Economic Relations in the Digital Society*, 3(49), 40-50. <https://doi.org/10.55643/ser.3.49.2023.507>

Анна СЕЛІВАНОВА

старший викладач

(orcid.org/0000-0001-6559-1508)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Анна ПОЛЮХОВИЧ

студент

(orcid.org/0009-0008-8525-286X)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОХОДІВ ОСВІТНЬОЇ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМИ

Прогнозування доходу освітньої онлайн-платформи належить до задач регресії, оскільки результатом є конкретне числове значення – дохід платформи [1]. Для такого прогнозу використовуються показники, які описують роботу платформи: активність користувачів, оплату навчань, цінову політику, маркетингові витрати та сезонні зміни попиту. Структуру вхідних даних для прогнозування доходів освітньої онлайн-платформи наведено на рис. 1.



Рис. 1. Структура вхідних даних для прогнозування доходів освітньої онлайн-платформи

Завдяки цим ознакам модель працює не тільки з минулим доходом, а й з показниками, які пояснюють його зміну. Для формування прогнозу дохід платформи подається як цільова змінна. Задачу прогнозування доходу можна описати формулою:

$$\hat{y} = f(X) \quad (1)$$

де $\hat{y}$ – прогнозоване значення доходу;

X – набір вхідних ознак;

$f(X)$ – модель машинного навчання, яка встановлює залежність між вхідними ознаками та цільовою змінною.

Побудову та навчання моделей виконано на наборі даних за 2023-2026 рр., який відображає зміну основних показників діяльності освітньої онлайн-платформи в часі. У межах роботи порівнюються три моделі регресії: Linear Regression, Random Forest і Gradient Boosting. Лінійна регресія використовується як базова модель. Random Forest формує прогноз за рахунок поєднання результатів багатьох дерев рішень [2]. Gradient Boosting послідовно додає базові моделі для зменшення похибки прогнозування [3].

Для перевірки точності використано метрики MAE, RMSE та коефіцієнт детермінації R^2 . MAE та RMSE показують похибку прогнозу, а R^2 характеризує наскільки збігаються прогнозовані і фактичні значення [4]. Узагальнені результати оцінювання моделей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння точності моделей прогнозування доходу

Модель	MAE, грн	RMSE, грн	R^2
Gradient Boosting	1422,43	1957,78	0,9943
Linear Regression	1490,72	2153,14	0,9931
Random Forest	1498,12	2225,63	0,9926

За даними табл. 1 найкращою моделлю виявилась Gradient Boosting: її значення MAE та RMSE є найменшими серед трьох моделей. Такий результат є логічним для задач прогнозування доходів, оскільки ансамблеві методи краще працюють із даними, де залежність між ознаками не є лінійною [5]. На рис. 2 наведено порівняння фактичного та прогнозованого доходу для моделі Gradient Boosting. З наведеного графіка видно, що прогнозовані значення загалом повторюють динаміку фактичного доходу на тестовій вибірці.



Рис. 2. Порівняння фактичного та прогнозованого доходу для моделі Gradient Boosting

Більші розбіжності з'являються там, де є різкі коливання доходу, але загальний напрям зміни модель передає коректно. Подальшим розвитком дослідження може бути реалізація моделі у вигляді вебзастосунку, у якому користувач задає період прогнозування та отримує результат у вигляді графіка, таблиці й узагальнених показників. Такий підхід дозволяє використовувати модель не лише для розрахунку прогнозу, а й як прикладний інструмент аналітики для підтримки фінансового планування освітньої онлайн-платформи.

Список використаних джерел

1. Scikit-learn. *Supervised learning*. https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html
2. Salman, H. A., Kalakech, A., & Steiti, A. (2024). Random Forest Algorithm Overview. *Babylonian Journal of Machine Learning*. URL: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/BJML/article/view/417>
3. IBM. (2024). *What is boosting?* URL: <https://www.ibm.com/think/topics/boosting>
4. Scikit-learn. *Metrics and scoring: quantifying the quality of predictions*. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html
5. Ganguly, P., & Mukherjee, I. (2024). Enhancing Retail Sales Forecasting with Optimized Machine Learning Models. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2410.13773>

Ганна САМОЙЛЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-9374-2833)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Анна СЕЛІВАНОВА

старший викладач
([orcid.org/ 0000-0001-6559-1508](https://orcid.org/0000-0001-6559-1508))

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКЛАМНИХ КАМПАНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON

В умовах розвитку цифрової економіки реклама в мережі Інтернет є одним із найважливіших інструментів просування товарів і послуг. Соціальні мережі відіграють особливу роль у формуванні маркетингових стратегій підприємств, оскільки дозволяють здійснювати точне налаштування аудиторії, контролювати рекламний бюджет та оперативно оцінювати результати рекламної діяльності. Однією з найбільш популярних платформ цифрового маркетингу є Facebook Ads, що забезпечує широкі можливості для запуску рекламних кампаній та збору статистичної інформації про взаємодію користувачів із рекламним контентом. Наявність великої кількості аналітичних показників дозволяє оцінювати ефективність реклами, виявляти слабкі місця маркетингових стратегій та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

У процесі аналізу рекламних кампаній особливого значення набувають такі показники, як загальні витрати на рекламу; кількість показів рекламних оголошень; кількість кліків; CTR (Click Through Rate); CPM (Cost Per Mille); CPC (Cost Per Click); ROMI (Return on Marketing Investment) та загальний дохід від рекламної кампанії [1]. Комплексний аналіз цих метрик дозволяє оцінити результативність вкладених коштів та ефективність маркетингової діяльності підприємства. Метою даної роботи є проведення аналітичного дослідження ефективності рекламних кампаній Facebook Ads на основі використання інструментів аналізу даних Python.

Одним із ключових аспектів аналізу рекламних кампаній є дослідження динаміки витрат у часовому розрізі. Для цього необхідно виконувати групування даних за датами у заданих часових межах та обчислено щоденну суму витрат на рекламу (рис. 1).

```
# Графік витрат
plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.plot(daily_grouped.index, daily_grouped['total_spend'], label='Щоденні витрати')
plt.plot(daily_grouped.index, daily_grouped['spend_rolling'], label='7-денне середнє')
plt.title('Щоденні витрати на рекламу (2021)')
plt.legend()
plt.show()
```



Рис. 1. Щоденні витрати на рекламу

Побудований графік демонструє нерівномірний характер використання рекламного бюджету. У певні часові періоди спостерігається суттєве збільшення витрат, що може бути пов'язано з активними фазами рекламних кампаній, проведенням маркетингових акцій або сезонними змінами попиту.

Наявність пікових значень свідчить про концентрацію маркетингових ресурсів у конкретні часові інтервали. Це може бути результатом запуску нових продуктів, розширення цільової аудиторії або збільшення конкуренції на ринку [1]. Водночас на графіку присутні періоди зі зниженими витратами, що може бути наслідком оптимізації бюджету або завершення окремих рекламних кампаній. Аналіз часової динаміки дозволяє оцінити стабільність рекламної активності; виявити сезонні закономірності; визначити періоди максимального навантаження на рекламний бюджет та оцінити ефективність розподілу фінансових ресурсів. Показник ROMI є одним із найбільш важливих критеріїв оцінювання ефективності рекламної діяльності. ROMI відображає співвідношення прибутку, отриманого від реклами, до витрачених маркетингових ресурсів (рис.2).

```
# Графік ROMI
plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.plot(daily_grouped.index, daily_grouped['ROMI'], label='Щоденний ROMI')
plt.plot(daily_grouped.index, daily_grouped['romi_rolling'], label='7-денне середнє')
plt.title('Щоденний ROMI (2021)')
plt.legend()
plt.show()
```

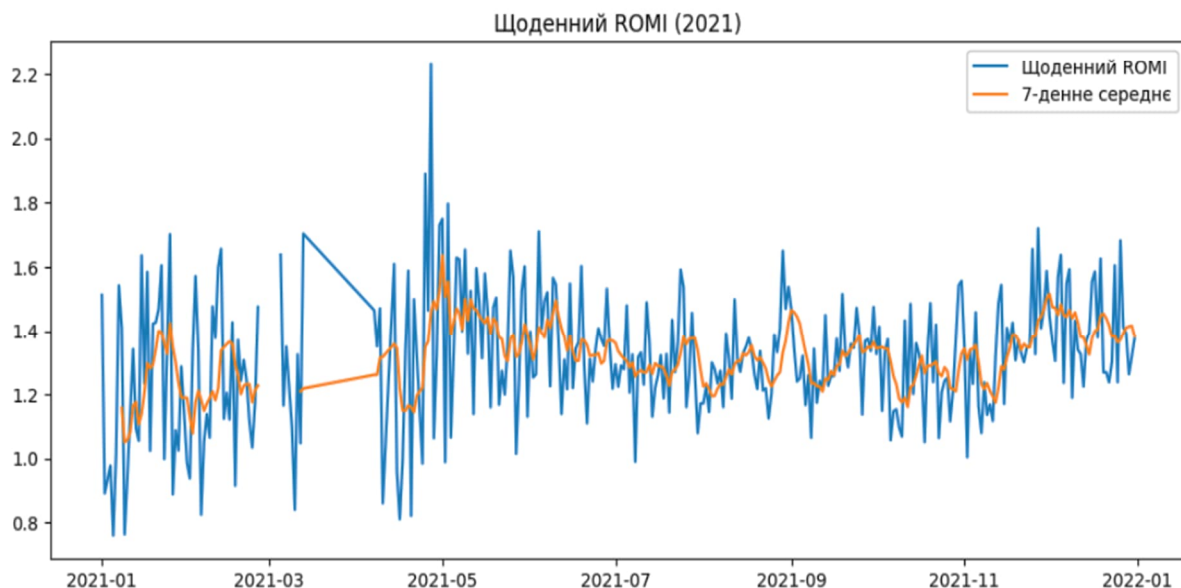


Рис. 2. Зміна щоденного ROMI

Під час аналізу щоденного ROMI можна виявити значні коливання показника. Так, в різні дні можна спостерігати високі значення ROMI, що свідчить про ефективне використання рекламного бюджету та високу результативність кампаній. Водночас у певні часові інтервали ефективність реклами суттєво знижувалась. Подібна мінливість може бути зумовлена різною якістю рекламного контенту, сезонними коливаннями попиту або змінами в алгоритмах рекламної платформи. Для оцінки структури рекламного бюджету необхідно згрупувати дані за назвами рекламних кампаній. Результати можуть вказувати на суттєву різницю між кампаніями за обсягом витрат, відповідно частина кампаній може використовувати значно більший рекламний бюджет, що свідчить про їх стратегічну важливість або більший масштаб рекламної активності (рис.3). Для дослідження загального розподілу значень ROMI доцільно використовувати гістограми.

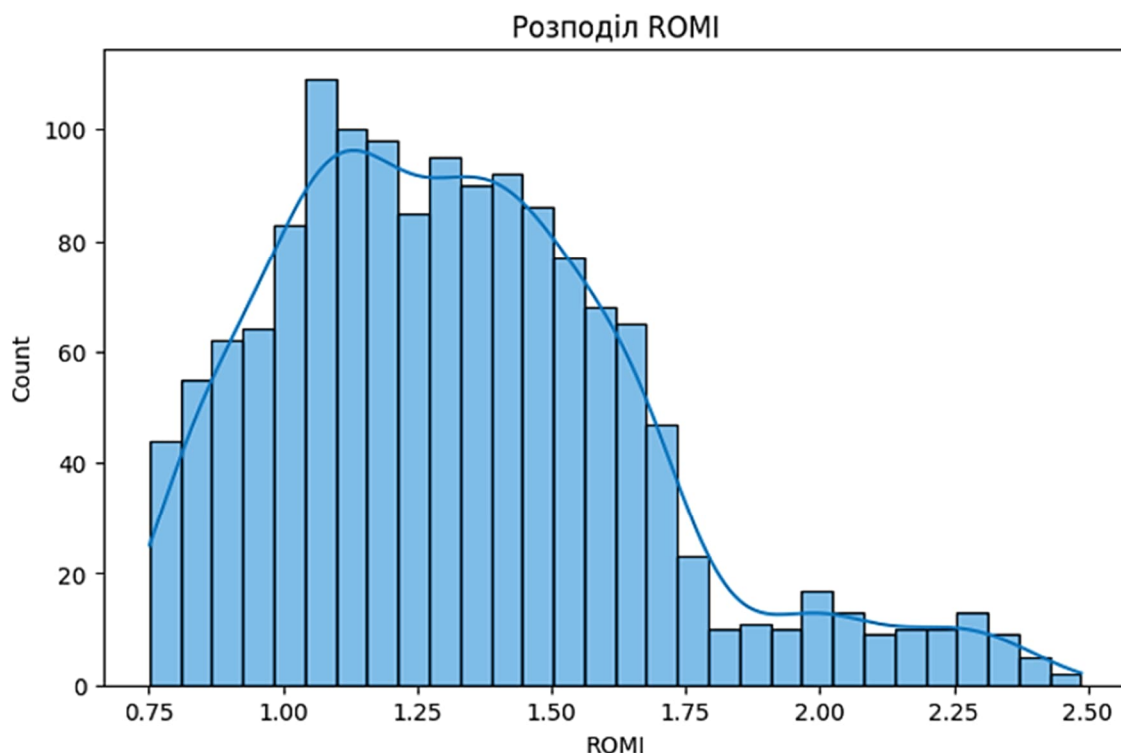


Рис. 3. Приклад розподілу ROMI

Кампанії з високими витратами, як правило, орієнтовані на широку аудиторію та мають більшу кількість показів рекламних оголошень. Менш витратні кампанії можуть використовуватись для тестування нових маркетингових підходів або просування вузько-спеціалізованих продуктів [1]. Порівняння витрат між кампаніями дозволяє оцінити структуру маркетингового бюджету та ефективність розподілу фінансових ресурсів. Наявність високих значень ROMI свідчить про існування успішних рекламних кампаній із високою окупністю витрат. Низькі значення можуть бути результатом помилок налаштування кампаній або недостатнього охоплення цільової аудиторії.

Список використаних джерел

1. Сенишин О. С., Кривешко О. В. (2020) *Маркетинг* : навч. посібник. Львів Львівський національний університет імені Івана Франка.
2. PANDAS (2026). Retrieved from: <https://pandas.pydata.org/>
3. MATPLOTLIB (2026). Retrieved from: <https://matplotlib.org/>
4. SEABORN.PYDATA (2026). Retrieved from: <https://seaborn.pydata.org/>

ГІБРИДНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ У ПРОГНОЗУВАННІ НАВАНТАЖЕННЯ НА СЛУЖБИ ПІДТРИМКИ

У сучасному цифровому середовищі служби підтримки клієнтів є стратегічно важливою складовою бізнесу, оскільки оперативність реагування безпосередньо впливає на лояльність споживачів та фінансову стабільність компанії. Проте управління ресурсами служби підтримки часто ускладнюється через динамічне зростання обсягів комунікацій та нерівномірний розподіл навантаження, спричинений як сезонністю, так і раптовими зовнішніми факторами: технічними збоями, маркетинговими кампаніями чи кібератаками.

Традиційні підходи, що базуються на емпіричних оцінках або простих статистичних методах, не здатні повноцінно врахувати складну природу сучасних бізнес-процесів. Це зумовлює гостру потребу у переході до проактивного управління на основі інтелектуального аналізу даних [1]. Інтелектуальний аналіз даних (Data Mining, Machine Learning, Predictive Analytics) дає змогу глибоко аналізувати великі обсяги інформації, виявляти приховані закономірності, будувати прогнози. Такі підходи дають змогу передбачити сплески активності клієнтів, визначити оптимальне навантаження для операторів підтримки, адаптувати графіки роботи та підвищити якість сервісу. При цьому важливими залишаються питання інтеграції різнорідних джерел даних (дзвінки, чати, електронні листи, соціальні мережі), обробки неструктурованих текстів, врахування контекстних чинників (святкові дні, маркетингові кампанії, погодні умови тощо) [2, 3].

Останні дослідження свідчать про активне впровадження штучного інтелекту для оптимізації роботи контакт-центрів. Зокрема, моделі на основі нейронних мереж LSTM (Long Short-Term Memory) демонструють точність понад 90%. Проте виключно нейромережеві підходи потребують значних обсягів даних для навчання.

З іншого боку, класичні статистичні моделі, такі як ARIMA та Prophet, добре справляються з виявленням лінійних трендів та сезонності, але виявляються вразливими до нестационарності та нелінійних

сплесків, характерних для кризових періодів. Таким чином, актуальним є створення гібридних рішень, які поєднують переваги обох підходів.

Інноваційність запропонованого підходу полягає у проведенні мультифакторного аналізу, де окрім кількісних показників (кількість дзвінків/чатів) враховується семантичний зміст звернень.

Методи обробки природної мови (NLP) виконують у системі такі функції:

1. Класифікація тематик: Використання трансформерних моделей типу BERT або RoBERTa дозволяє з високою точністю розподіляти звернення за категоріями. Це дає змогу прогнозувати навантаження не лише загалом, а й у розрізі конкретних груп фахівців.

2. Визначення критичності: Система ідентифікує «критичні» запити, що потребують миттєвої реакції, що дозволяє адаптивно керувати пріоритетами обробки.

3. Аналіз емоційного забарвлення: Виявлення негативної тональності повідомлень дозволяє вчасно виявляти системні проблеми (наприклад, масовий збій сервісу), що є випереджальним індикатором різкого зростання навантаження.

Система реалізується за мікросервісним підходом, що забезпечує її масштабованість та незалежність компонентів. Процес обробки даних включає інтеграцію мультиджерельної інформації: журналів викликів, чат-ботів, соціальних мереж та даних CRM-систем.

На етапі попередньої обробки здійснюється очищення, нормалізація числових ознак та векторизація текстів (методами TF-IDF, Word2Vec або за допомогою BERT-ембедінгів). Це формує уніфікований датасет, де кількісні параметри часових рядів доповнюються контекстними семантичними ознаками.

Для оцінки ефективності було проведено порівняльний аналіз кількох моделей за метриками RMSE та MAPE. Результати порівняння наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна ефективність моделей прогнозування

Модель	RMSE (↓)	MAPE (%) (↓)	Переваги	Недоліки
ARIMA	12.3	9.4	Простота, добре враховує сезонність	Вразлива до нестационарності
Prophet (Facebook)	10.5	8.2	Візуальна інтерпретація, robust	Складна інтеграція контексту

Модель	RMSE (↓)	MAPE (%) (↓)	Переваги	Недоліки
<i>LSTM</i>	7.9	6.1	Висока точність, працює з pop-linear	Потребує великого обсягу даних
<i>Hybrid (ARIMA+LSTM)</i>	6.5	5.7	Комбінує лінійні та нелінійні патерни	Висока складність реалізації

Найкращі результати продемонструвала гібридна модель (ARIMA+LSTM), яка за рахунок поєднання статистичних методів та глибокого навчання дозволила знизити помилку прогнозу (MAPE) до 5.7%. Для задач класифікації звернень застосування BERT забезпечує високі показники Precision, Recall та F1-score, що критично важливо для виявлення запитів, які потребують негайної реакції. Запропонована проєктна концепція системи інтелектуального аналізу даних для прогнозування навантаження на службу підтримки клієнтів, яка передбачає високу ефективність завдяки поєднанню кількох сучасних технологій: обробки часових рядів, аналізу текстів на основі NLP, а також контекстної інтеграції зовнішніх даних. Крім цього, передбачається, що вона дозволяє: здійснювати прогнозування з високою точністю, оптимізувати використання ресурсів служби підтримки, зменшувати час обробки звернень і покращувати загальний досвід взаємодії клієнтів із компанією. Інноваційність підходу полягає в мультифакторному аналізі, що враховує не лише історичні дані, але й семантичний зміст звернень, сезонні коливання, вплив зовнішніх подій. Використання сучасних методів глибокого навчання (LSTM, BERT) забезпечує адаптивність та точність моделей. При цьому реалізація архітектури на основі мікросервісів дозволяє масштабувати рішення, впроваджувати його в компаніях різного розміру та галузі. Система може бути інтегрована у вже існуючі CRM- або HelpDesk-рішення через API, що спрощує її впровадження в існуючу IT-інфраструктуру компаній. У подальших дослідженнях доцільно зосередити увагу на покращенні механізмів самонавчання системи, розширенні джерел даних за рахунок IoT- або мобільних платформ, а також на питаннях етичності та захисту персональних даних у процесі аналітики. Зважаючи на динамічний розвиток галузі, такі системи можуть стати базовими елементами для цифрової трансформації підтримки клієнтів у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Бідюк П.І. Системи і методи підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс]: підручник / П.І. Бідюк, О.Л. Тимощук, А.Є. Коваленко, Л. О. Коршевніук. -К: КПІ ім. І. Сікорського, 2022. – 610 с.
2. Герасимов Б.М., Субач І.Ю. Функціональна структура підсистеми нечіткого виводу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень // Автоматизація виробничих процесів, 2023. – № 2(23). – С. 7–43.
3. Кузнєцова Н.В. Виявлення та оброблення невизначеностей у формі неповних даних методами інтелектуального аналізу / System Research & Information Technologies, 2016, № 2, с. 104-115 <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/bc8037b3-56ae-494a-bed5-7d01c8656138/content>
4. Shin Y.C. Intelligent systems: modeling, optimization, and control / C.Y. Shin, C. Xu. – Boca Raton: CRC Press, 2009. – 456 p. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420051773/intelligent-systems-chengying-xu-yung-shin>

Людмила КАТРЕЧА

аспірант

(orcid.org/0009-0000-1261-717X)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МЕДИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСІВ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Ефективне використання ресурсів у закладах охорони здоров'я (ЗОЗ) залишається актуальною проблемою як в Україні, так і в інших країнах. Нерівномірне навантаження на медичний персонал і діагностичне обладнання часто призводить до утворення черг, погіршення якості медичної допомоги та нераціонального використання фінансових ресурсів. Наявні підходи до планування здебільшого базуються на нормативних показниках і недостатньо враховують сезонні зміни, епідемічні спалахи та демографічні особливості пацієнтів. У зв'язку з

цим зростає потреба у використанні сучасних методів аналізу даних та машинного навчання для прогнозування навантаження на ресурси медичних закладів і підвищення ефективності їх управління [1].

Вхідні дані формуються з чотирьох джерел: медичної інформаційної системи (МІС) та електронних медичних карток (кількість звернень, МКХ-11-класифіковані діагнози); ресурсної бази даних (зайнятість ліжкового фонду, графіки персоналу); зовнішніх відкритих API (епідеміологічна статистика, метеодані, календар свят); а також ERP-системи ЗОЗ. Загальну архітектуру системи інтелектуального аналізу медичних даних наведено на рис. 1.

На етапі попередньої обробки застосовується множинне заповнення пропущених значень методом MICE (Multiple Imputation by Chained Equations), нормалізація числових ознак за алгоритмом Min-Max або Z-score залежно від розподілу, а також entity embeddings для кодування категоріальних змінних. Feature Engineering включає: лагові значення навантаження за 7, 14 та 30 діб; ковзні статистики; компоненти сезонності, виділені за допомогою STL-декомпозиції (Seasonal-Trend decomposition using LOESS).

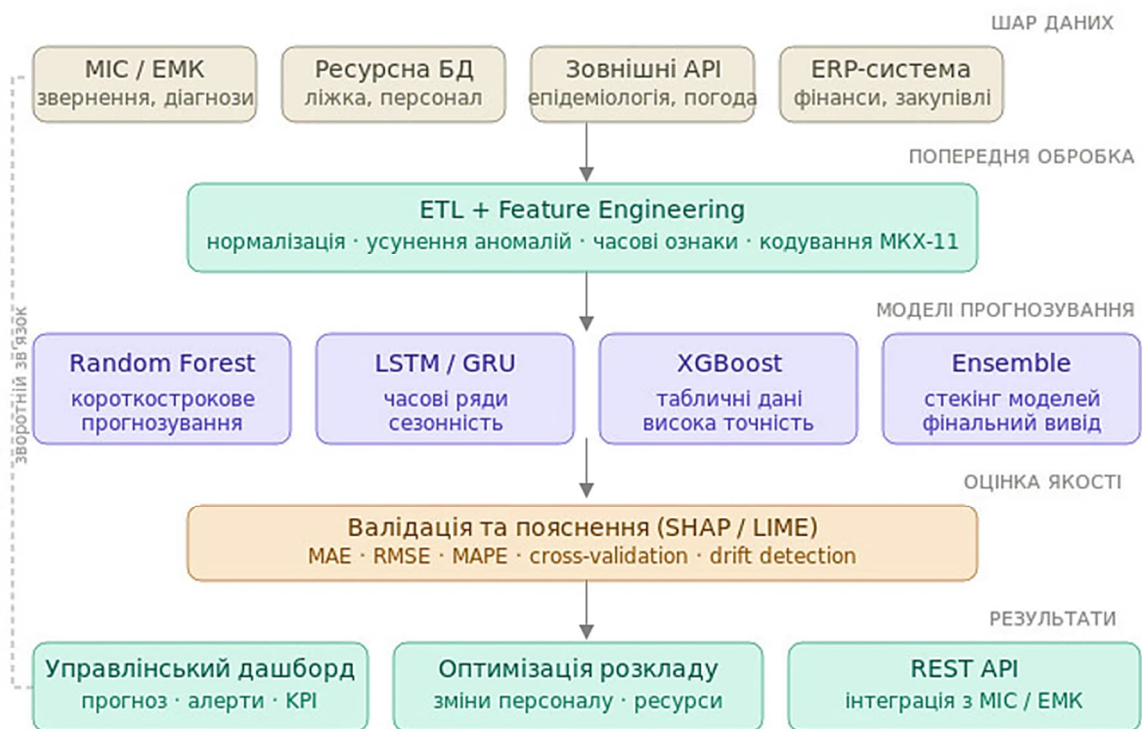


Рис. 1. Архітектура системи інтелектуального аналізу медичних даних [3]

Ансамблева архітектура прогнозування поєднує три базові моделі. Random Forest виявляє нелінійні залежності між ознаками та

забезпечує базовий прогноз на 1-3 доби. Двошаровий LSTM з механізмом уваги моделює довготривалі залежності у часових рядах (тижневий та місячний ритм звернень), горизонт прогнозу – до 14 діб. XGBoost забезпечує високу точність на структурованих табличних даних. Фінальний прогноз формується шляхом поєднання результатів кількох моделей із використанням підходу стекінгу, де як узагальнювальна модель застосовується Ridge Regression, навчена на валідаційній вибірці [4].

Для інтерпретації результатів використовується метод SHAP (SHapley Additive exPlanations), який дозволяє визначати ключові фактори, що найбільше впливають на кожен прогноз, із кількісною оцінкою їх внеску. Використання методів прогнозування дозволяє отримати числові оцінки майбутніх показників та визначити логіку їх формування. Це дає можливості для прийняття ефективних управлінських рішень у розподілу ресурсів. Практична реалізація підходу може реалізовуватися у вигляді мікросервісу з REST API, який інтегровано в інформаційну систему ЗОЗ. Результати прогнозів відображаються на дашборді і автоматично передаються до підсистеми планування роботи персоналу.

Застосування інструментів для інтелектуального аналізу даних і алгоритмів машинного навчання підвищує точність прогнозів і сприяє оптимальній підтримці управлінських процесів у сфері охорони здоров'я.

Список використаних джерел

1. El-Bouri, R., Taylor, T., Youssef, A., Zhu, T., & Clifton, D. A. (2021). Machine learning in patient flow: A review. *Progress in Biomedical Engineering*, 3(2), 022002. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/abddc5>
2. Bertsimas, D., Pauphilet, J., Stevens, J., & Tandon, M. (2022). Predicting inpatient flow at a major hospital using interpretable analytics. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(6), 2809–2824. <https://doi.org/10.1287/msom.2021.0971>
3. Harrou, F., Kadri, F., Hering, A., & Sun, Y. (2021). Effective forecasting of key features in hospital emergency department: Hybrid deep learning-driven methods. *Machine Learning with Applications*, 7, 100216. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100216>
4. Harrou, F., Kadri, F., & Sun, Y. (2022). Towards accurate prediction of patient length of stay at emergency department: A GAN-driven deep learning framework. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13, 3015–3026. <https://doi.org/10.1007/s12652-022-03717-z>

5. Lu, X., & Qiu, H. (2023). Explainable prediction of daily hospitalizations for cerebrovascular disease using stacked ensemble learning. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23, 72. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02159-7>
6. Rotarou, E. S., & Sakellariou, D. (2024). Integrating Shapley values into machine learning techniques for enhanced predictions of hospital admissions. *Applied Sciences*, 14(13), 5925. <https://doi.org/10.3390/app14135925>

Олексій ШИНДИР

студент

(orcid.org/0009-0006-9555-4293)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Ганна САМОЙЛЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент

(orcid.org/0000-0002-9374-2833)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДАНИХ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

У сучасному інформаційному суспільстві кількість цифрових даних постійно збільшується. Щодня користувачі генерують значні обсяги інформації через соціальні мережі, банківські сервіси, мобільні застосунки, інтернет-магазини та інші онлайн-платформи. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають методи ефективної обробки, аналізу та зручного подання даних. Саме тому технології візуалізації та дослідження інформації сьогодні відіграють важливу роль, адже вони допомагають спростувати сприйняття великих масивів даних і швидше виявляти необхідні закономірності та тенденції.

Візуалізація даних – це процес графічного представлення інформації за допомогою діаграм, графіків, схем, таблиць та інших візуальних елементів. Основною метою візуалізації є полегшення аналізу даних та підвищення ефективності сприйняття інформації користувачем. Людина значно швидше сприймає графічну інформацію, ніж великі масиви числових даних або тексту. Саме тому сучасні

інформаційні системи активно використовують графічні методи представлення результатів аналізу.

Однією з основних переваг візуалізації даних є можливість швидко помічати певні залежності, зміни та незвичайні відхилення у великому обсязі інформації. Наприклад, використовуючи графіки або діаграми, можна без труднощів простежити, як змінюються показники протягом певного часу зростають вони чи, навпаки, знижуються. Такий підхід має велике значення у сферах фінансів, медицини, маркетингу та бізнес-аналітики, де важливо швидко обробляти дані й на основі отриманих результатів ухвалювати відповідні рішення.

Сучасні технології дозволяють створювати інтерактивні системи візуалізації даних. Такі системи забезпечують можливість змінювати параметри аналізу у режимі реального часу, фільтрувати інформацію, змінювати масштаб графіків та виконувати детальні дослідження даних. Інтерактивна візуалізація широко використовується у сфері Big Data, оскільки традиційні методи обробки інформації вже не можуть ефективно працювати з надзвичайно великими обсягами даних.



Рис. 1. Приклад сучасної системи візуалізації даних

Для створення систем візуалізації застосовуються різноманітні програмні засоби та технології. Серед найпоширеніших можна виділити Microsoft Power BI, Tableau, Google Dfpta Studio, Qlik Sense, а також мову програмування Python із бібліотеками Matplotlib, Seaborn та Plotly. Дані інструменти дозволяють створювати сучасні

інформаційні панелі, графіки та аналітичні звіти. Їх використання значно підвищує ефективність аналізу інформації та автоматизує процес прийняття рішень.

Перед проведенням аналізу даних важливим етапом є їх попередня обробка. Вона включає очищення даних від помилок, усунення дублікатів, заповнення пропущених значень та структурування інформації. Якість вхідних даних безпосередньо впливає на точність результатів аналізу. Якщо дані містять помилки або неточності, це може призвести до неправильних висновків та помилкових рішень.

Після підготовки даних здійснюється їх дослідження із застосуванням статистичних методів та алгоритмів Data Science. Для цього використовуються методи класифікації, кластеризації, прогнозування та машинного навчання. Отримані результати аналізу подаються у вигляді графіків, діаграм або інформаційних панелей для подальшого дослідження користувачем.

Для узагальнення основних типів візуалізації даних доцільно використати таблицю 1.

Таблиця 1

Основні типи візуалізації даних

Тип візуалізації	Призначення	Переваги	Недоліки
Лінійний графік	Аналіз змін показників у часі	Простота та наочність	Не підходить для дуже великих наборів даних
Стовпчикова діаграма	Порівняння значень	Зручне порівняння показників	Велика кількість стовпців ускладнює аналіз
Кругова діаграма	Відображення співвідношень	Простота сприйняття	Неточність при великій кількості секторів
Теплова карта	Аналіз інтенсивності значень	Швидке виявлення закономірностей	Складність для недосвідчених користувачів
Scatter Plot	Аналіз взаємозв'язків між даними	Виявлення кореляції	Потребує великого обсягу даних

Отже, різні типи візуалізації мають власні характеристики та застосовуються відповідно до конкретних потреб і завдань. Вдалий вибір способу подання інформації допомагає зробити аналіз даних

більш зрозумілим і ефективним, а також полегшує сприйняття отриманих результатів користувачем.

Візуалізація активно застосовується у сфері бізнес-аналітики. За допомогою графіків та інформаційних панелей компанії можуть аналізувати прибутки, витрати, клієнтів і результативність маркетингових стратегій. Це сприяє більш оперативному ухваленню управлінських рішень та допомагає ефективніше планувати подальшу діяльність компанії.. Це дозволяє швидше приймати управлінські рішення та прогнозувати подальший розвиток бізнесу. У фінансовій сфері візуалізація допомагає аналізувати курси валют, зміни цін на акції та економічні показники.

У медичній галузі технології візуалізації даних широко використовуються для аналізу результатів обстежень, відстеження статистики захворювань і спостереження за станом пацієнтів. Наприклад, сучасні інформаційні системи в медицині можуть відображати зміни показників здоров'я за допомогою графіків та діаграм, що дає змогу лікарям швидше оцінювати ситуацію та приймати рішення щодо подальшого лікування пацієнта.

Важливу роль візуалізація відіграє і в освітній сфері. Використання графіків, схем та інтерактивних елементів дозволяє значно покращити сприйняття навчального матеріалу студентами. Візуальне представлення інформації допомагає швидше зрозуміти складні поняття та підвищує ефективність навчального процесу.

Сьогодні особливого значення набуває аналіз великих даних (Big Data). Великі компанії та організації використовують спеціальні системи для збору, зберігання та аналізу величезних масивів інформації. Без сучасних методів візуалізації ефективний аналіз таких даних був би практично неможливим. Саме тому технології Data Science та візуалізації постійно розвиваються та вдосконалюються.

Отже, візуалізація та аналіз даних посідають важливе місце у сучасних інформаційних технологіях. Вони дають можливість ефективно опрацьовувати значні обсяги інформації, виявляти приховані залежності та підвищувати якість ухвалення рішень. Сьогодні інструменти візуалізації широко використовуються в різних сферах діяльності людини й відіграють важливу роль у розвитку інформаційного суспільства.

Список використаних джерел

1. Few S. (2013) Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring. 3rd ed. Burlingame : Analytics Press.

2. Knafllic C. N. (2015) Soorytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals. Hoboken: Wiley.
3. Murray S. (2017) Interactive Data Visualization for the Web. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media.
4. Han J., Kamber M., Pei J. (2011) Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd ed. Waltham: Morgan Kaufmann.
5. Tukey J. W. (1977) Exploratory Data Analysis. Boston: Addison-Wesley.
6. Microsoft Power BI Documentation. <https://learn.microsoft.com/power-bi/>
7. Tableau Documentation. <https://www.tableau.com/learn>
8. Python Software Foundation. Matplotlib Documentation. Retrieved from <https://matplotlib.org/stable/>
9. Google Looker Studio Documentation. Retrieved from <https://cloud.google.com/looker-studio>
10. IBM. What is Big Data Analytics? Retrieved from <https://www.ibm.com/topics/big-data-analytics>

Аліса ШАМІГУЛОВА

студент

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Ігор ТИЩЕНКО

PhD з комп'ютерних наук, доцент
([orcid.org/ 0000-0003-1813-0797](https://orcid.org/0000-0003-1813-0797))

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ СТАРТАП-ПРОЄКТАМИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Стартап-проекти функціонують в умовах підвищеної невизначеності, обмеженості ресурсів і високої швидкості змін, тому якість управлінських рішень безпосередньо впливає на їхню життєздатність. На ранніх етапах розвитку рішення щодо продукту, цільової аудиторії, каналів залучення користувачів, фінансового планування та масштабування часто приймаються за неповної інформації. У зв'язку з цим зростає значення підходів, заснованих на аналізі даних і методах машинного навчання, які дають змогу перейти від інтуїтивного управління до data-driven моделі. Штучний інтелект у проектному

менеджменті найчастіше застосовується для підтримки прийняття рішень, прогнозування ризиків, оптимізації ресурсів та інформаційного супроводу управлінських процесів [1].

Інтелектуальна модель підтримки прийняття рішень в управлінні стартап-проєктами на основі методів машинного навчання розглядається як інструмент, що поєднує збір і консолідацію даних, попередню обробку показників, навчання алгоритмів та подання результатів у формі, придатній для менеджменту стартапу. Її практичне значення полягає у зниженні невизначеності під час вибору управлінських дій, ранньому виявленні ризиків і підвищенні обґрунтованості рішень щодо розвитку продукту, маркетингу та розподілу ресурсів.

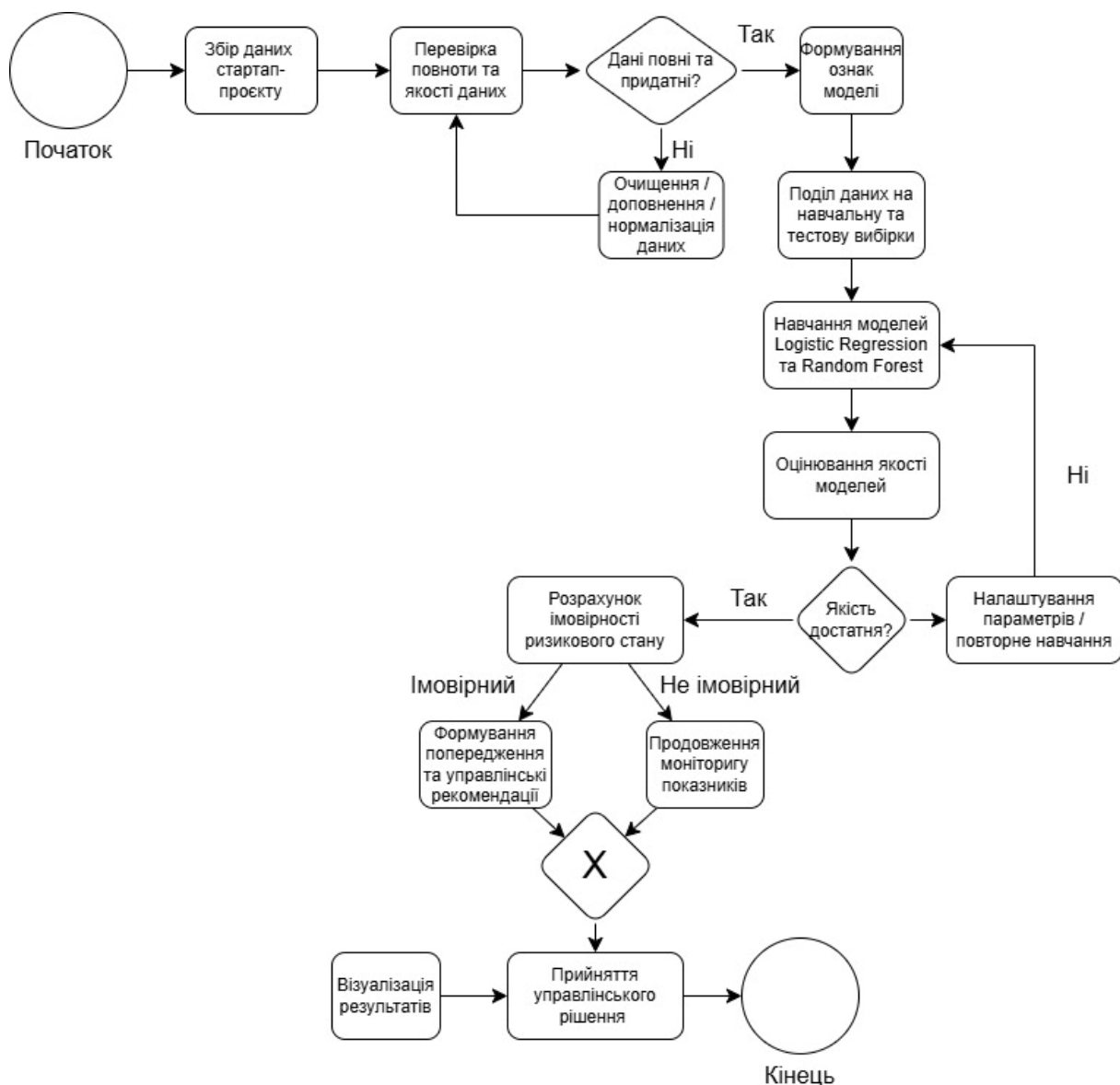


Рис. 1. BPMN-модель процесу підтримки прийняття рішень у стартап-проєкті на основі ML

Для конкретизації логіки функціонування інтелектуальної моделі підтримки прийняття рішень доцільно подати її не лише у вигляді загальної структурної схеми, а як процесну BRMN-модель. Такий формат дозволяє показати послідовність дій аналітичної системи та управлінського блоку стартапу, а також відобразити умови переходу між етапами.

Наведена BRMN-модель демонструє, що процес підтримки прийняття рішень має циклічний і умовно-логічний характер. Якщо вхідні дані є неповними або непридатними, система повертається до етапу їх очищення, доповнення та нормалізації. Якщо якість навченої моделі є недостатньою, відбувається налаштування параметрів і повторне навчання. Після розрахунку ймовірності ризикового стану система розділяє подальші дії залежно від отриманого результату: за наявності ймовірного ризику формується попередження та управлінська рекомендація, а за відсутності ризикових ознак продовжується моніторинг показників. Отже, запропонована BRMN-модель відображає не лише послідовність технічної обробки даних, а й практичну логіку перетворення результатів машинного навчання на управлінське рішення.

У межах інтелектуальної моделі підтримки прийняття рішень математичним ядром є задача бінарної класифікації, спрямована на визначення ймовірності ризикового стану стартап-проєкту. Такий підхід відповідає управлінській логіці стартапу, оскільки на практиці менеджменту необхідно своєчасно встановити, чи існує загроза погіршення ключових показників: зниження активності користувачів, падіння retention rate, зростання вартості залучення клієнта, зменшення конверсії або погіршення фінансової динаміки.

Цільова змінна моделі набуває двох значень: $y = 0$ – ризиковий стан не виявлено, $y = 1$ – ризиковий стан виявлено. Як вхідні ознаки використовуються показники, що характеризують поточний стан стартап-проєкту: кількість активних користувачів, частота використання продукту, коефіцієнт конверсії, CAC, LTV, MRR, retention rate та обсяг маркетингових витрат. Після очищення, нормалізації та формування ознак ці дані подаються на вхід моделі машинного навчання.

Для пояснюваного прогнозування ризикового стану використовується логістична регресія. Її перевага полягає в тому, що вона дає змогу не лише отримати прогноз, а й інтерпретувати вплив окремих факторів на результат. У загальному вигляді математична модель логістичної регресії має такий вигляд [2]:

$$P(y = 1 | x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (1)$$

де $P(y = 1 | x)$ – ймовірність настання ризикового стану стартап-проєкту;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – вхідні ознаки моделі;

β_0 – вільний член моделі;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – коефіцієнти впливу відповідних ознак;

e – основа натурального логарифма.

Отримане значення $P(y = 1 | x)$ використовується як кількісна основа для прийняття управлінського рішення. Якщо ймовірність ризикового стану перевищує встановлений поріг, система формує попередження та пропонує відповідну управлінську дію. У межах запропонованої моделі порогове значення встановлено на рівні 0,6 [3]:

$$Decision = \begin{cases} \text{ризиковий стан,} & \text{якщо } P(y = 1 | x) \geq 0.6 \\ \text{неризиковий стан,} & \text{якщо } P(y = 1 | x) < 0.6 \end{cases} \quad (2)$$

Така логіка дає змогу перетворити результат машинного навчання на практичну управлінську рекомендацію. Якщо модель визначає високий ризик, менеджмент отримує сигнал про необхідність коригування retention-заходів, маркетингового бюджету, продуктового функціоналу або комунікації з користувачами. Якщо ймовірність ризику є нижчою за порогове значення, система не формує критичного попередження, а продовжує моніторинг ключових показників.

Для підвищення точності прогнозування також використовується алгоритм Random Forest, який дозволяє враховувати нелінійні залежності між показниками стартап-проєкту. Це важливо, оскільки ризиковий стан часто формується не одним окремим фактором, а їх поєднанням, наприклад одночасним зростанням САС, зниженням retention rate і падінням конверсії. У такому випадку Random Forest дає змогу точніше виявити складні взаємозв'язки між ознаками.

Для підвищення якості прогнозування поряд із логістичною регресією може застосовуватися алгоритм Random Forest, який дає змогу враховувати складні нелінійні зв'язки між показниками стартап-проєкту. Це важливо, оскільки ризиковий стан часто формується не одним окремим фактором, а поєднанням кількох ознак, зокрема зниженням retention rate, падінням конверсії, зростанням САС або скороченням активності користувачів. Сучасні дослідження також

підтверджують доцільність використання методів машинного навчання для прогнозування успішності, фінансової стійкості та розвитку стартапів на основі різнорідних наборів даних [4].

Практична цінність інтелектуальної моделі полягає не лише в отриманні прогнозу, а й у його управлінській інтерпретації. Якщо модель фіксує підвищену ймовірність ризикового стану, менеджмент має отримати не просто числовий результат, а пояснення можливих причин і напрям дії: посилення retention-заходів, перегляд маркетингового бюджету, корекцію продуктового функціоналу або зміну комунікації з користувачами. Саме тому результат машинного навчання в моделі пов'язується з блоком формування управлінської рекомендації.

Для перевірки працездатності інтелектуальної моделі підтримки прийняття рішень було проведено експериментальне моделювання у середовищі Python. У процесі роботи використовувалися бібліотеки pandas і numpy для формування та попереднього опрацювання набору даних, scikit-learn – для навчання моделей машинного навчання й розрахунку метрик якості, а matplotlib – для графічного подання результатів. Експеримент було виконано на синтетичному наборі даних стартап-проєкту, сформованому за ключовими управлінськими показниками: кількість активних користувачів, частота використання продукту, коефіцієнт конверсії, CAC, LTV, MRR, retention rate та обсяг маркетингових витрат.

Цільовою змінною було визначено ризиковий стан стартап-проєкту: 0 – низький рівень ризику, 1 – високий рівень ризику. Дані було поділено на навчальну та тестову вибірки у співвідношенні 80:20. Для порівняння було виконано три експериментальні запуски. Перший запуск передбачав використання базового правила, яке виконувало роль контрольного орієнтира. Другий запуск здійснювався із застосуванням Logistic Regression як інтерпретованої моделі прогнозування ризику. Третій запуск було проведено з використанням Random Forest, що дозволяє враховувати складніші нелінійні залежності між показниками стартапу.

Опрацювання результатів здійснювалося шляхом порівняння моделей за чотирма метриками: accuracy, precision, recall та F1-score. Accuracy характеризує загальну частку правильних прогнозів, precision показує точність визначення ризикових ситуацій, recall відображає здатність моделі виявляти потенційно ризикові випадки, а F1-score узагальнює баланс між precision і recall. Отримані результати подано в табл. 1.

Результати тестування моделей прогнозування ризикового стану стартап-проєкту

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Управлінська інтерпретація
Logistic Regression	0,81	0,79	0,76	0,77	Придатна для базового пояснюваного прогнозування ризику
Random Forest	0,87	0,85	0,83	0,84	Дає вищу якість прогнозу за рахунок урахування нелінійних зв'язків
Базове правило	0,65	0,61	0,58	0,59	Використовується як контрольний орієнтир

Для наочного представлення результатів табличні дані було додатково візуалізовано у вигляді стовпчикової діаграми (рис. 2). Такий формат дозволяє порівняти результати трьох експериментальних запусків за всіма основними метриками та виявити модель, яка забезпечує найкращу якість прогнозування ризикового стану стартап-проєкту.

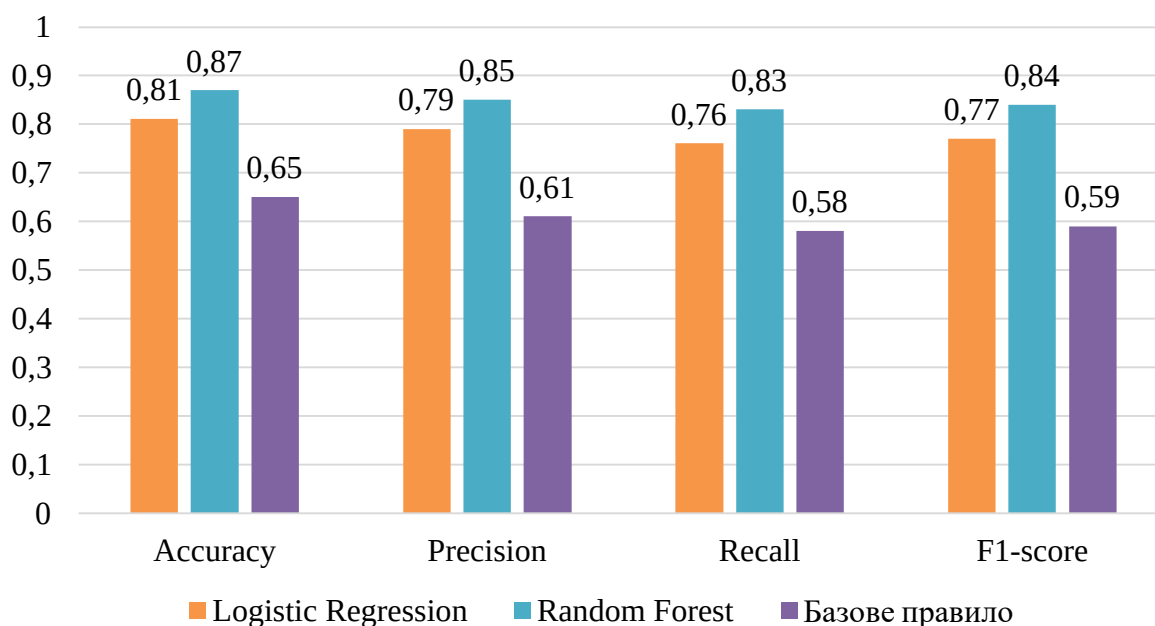


Рис. 2. Графічне порівняння результатів тестування моделей прогнозування ризикового стану стартап-проєкту

Результати експериментального моделювання показують, що найвищі значення за всіма метриками продемонструвала модель Random Forest. Її accuracy становить 0,87, precision – 0,85, recall – 0,83, а F1-score – 0,84. Це свідчить про кращу здатність ансамблевої моделі враховувати складні взаємозв'язки між показниками стартап-проєкту. Logistic Regression також показала прийнятний результат: accuracy – 0,81, precision – 0,79, recall – 0,76, F1-score – 0,77. Її перевагою є вища інтерпретованість, що важливо для пояснення управлінських рішень. Найнижчі результати отримано для базового правила, яке поступається обом моделям машинного навчання за всіма показниками.

Опрацювання результатів трьох експериментальних запусків підтвердило доцільність використання методів машинного навчання в інтелектуальній моделі підтримки прийняття рішень. Random Forest є більш ефективним для точного прогнозування ризикового стану стартап-проєкту, тоді як Logistic Regression доцільно використовувати для пояснення впливу окремих факторів на результат. Поєднання табличного та графічного подання результатів дозволяє не лише зафіксувати числові значення метрик, а й наочно продемонструвати переваги кожного підходу для управлінського аналізу.

Важливою умовою придатності моделі є коректне оцінювання її якості. Для класифікаційних задач у стартап-середовищі недостатньо орієнтуватися лише на accuracy, оскільки дані часто є незбалансованими. Більш інформативними є precision, recall і F1-score, які дають змогу оцінити не лише загальну точність, а й практичну корисність прогнозу. Для регресійних задач доцільно застосовувати MAE, RMSE та коефіцієнт детермінації. Окремого значення набуває інтерпретованість результатів, оскільки управлінська модель має не просто видавати прогноз, а пояснювати, чому система рекомендує те чи інше рішення. Це розглядається як одна з ключових вимог до використання ІІІ в управлінні та системах підтримки прийняття рішень [5].

Наукова новизна запропонованого підходу полягає у поєднанні прогнозного, пояснювального та рекомендаційного компонентів в єдиній інтелектуальній моделі підтримки прийняття рішень для стартап-проєктів. На відміну від підходів, орієнтованих лише на прогнозування окремого показника, запропонована модель трансформує результат ML-алгоритму в управлінську рекомендацію, що може бути використана для корекції продукту, маркетингової стратегії, retention-заходів або розподілу ресурсів.

Інтелектуальна модель підтримки прийняття рішень в управлінні стартап-проєктами є доцільним інструментом цифровізації управління, який поєднує аналітику даних, прогнозування та формування практичних

рекомендацій. Її впровадження дозволяє зменшити рівень невизначеності, підвищити якість управлінських дій, краще використовувати ресурси та своєчасно реагувати на зміни ринку. Проведений експеримент підтвердив доцільність використання комбінованого підходу, за якого ансамблева модель забезпечує вищу якість прогнозування, а інтерпретована модель використовується для пояснення факторів ризику та підтримки управлінської логіки рішення.

Перспективою подальших досліджень є програмна реалізація такої моделі, тестування на реальних або синтетичних наборах даних стартапів і розширення її функціоналу за рахунок пояснюваного штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. Taboada, I., Daneshpajouh, A., Toledo, N., & de Vass, T. (2023). Artificial intelligence enabled project management: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 13(8), 5014. doi:10.3390/app13085014
2. LogisticRegression. Scikit-learn Documentation, Scikit-learn developers. 2025. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LogisticRegression.html
3. Tuning the decision threshold for class prediction. Scikit-learn developers. 2025. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/classification_threshold.html
3. Razaghzadeh Bidgoli, M., Raeesi Vanani, I., & Goodarzi, M. (2024). Predicting the success of startups using a machine learning approach. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13, 80. doi:10.1186/s13731-024-00436-x
4. Adamantiadou, D. S., & Tsironis, L. (2025). Leveraging artificial intelligence in project management: A systematic review of applications, challenges, and future directions. *Computers*, 14(2), 66. doi:10.3390/computers14020066

Павло ДЕМІДОВ

кандидат технічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0003-4085-2809)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Милослава ТИТАРЕНКО

студент
(orcid.org/0009-0006-0316-1637)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ДЕТЕКЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Стрімкий розвиток міської інфраструктури, збільшення кількості транспортних засобів та потреба у підвищенні рівня безпеки дорожнього руху зумовлюють зростаючий попит на автоматизовані системи відеоаналізу. Традиційні методи моніторингу транспорту, що ґрунтуються на ручній обробці відеозаписів або застарілих алгоритмах комп'ютерного зору, вже не відповідають сучасним вимогам щодо швидкості та точності обробки інформації. Нейромережеві методи детекції об'єктів, зокрема сімейство алгоритмів YOLO (You Only Look Once), демонструють значно вищу продуктивність і точність у задачах виявлення транспортних засобів у реальному часі [2, 7]. Метою роботи є дослідження та розробка системи автоматичної детекції транспортних засобів у режимі реального часу на основі нейромережевої архітектури YOLOv8 з використанням відеопотоків у форматі RTSP та бібліотеки OpenCV, а також оцінювання ефективності запропонованого підходу.

YOLOv8, розроблений компанією Ultralytics [1], є восьмою версією популярної архітектури YOLO і вирізняється низкою ключових покращень. Модель використовує вдосконалену архітектуру backbone на базі CSPDarknet із підтримкою механізмів уваги, що забезпечує краще виявлення об'єктів різних масштабів. До ключових особливостей YOLOv8 належать: відсутність якірних точок (anchor-free detection), що спрощує налаштування моделі; розширений набір попередньо навчених моделей різних розмірів (nano, small, medium, large, xlarge), попередньо навчених на великому наборі даних COCO [5]; вбудована підтримка задач класифікації, детекції, сегментації та

відстеження об'єктів; зручний Python API та CLI-інтерфейс для навчання й виведення результатів. Порівняння попередньо навчених моделей YOLOv8 за продуктивністю наведено в таблиці 1 [1].

Таблиця 1

**Порівняння попередньо навчених моделей YOLOv8
за продуктивністю**

Модель YOLOv8	Параметри, млн	Точність mAP, %	Швидкість CPU, мс	Швидкість GPU, мс
YOLOv8n	3.2	37.3	80.4	0.99
YOLOv8s	11.2	44.9	128.4	1.20
YOLOv8m	25.9	50.2	234.7	1.83
YOLOv8l	43.7	52.9	375.2	2.39
YOLOv8x	68.2	53.9	479.1	3.53

Як видно з таблиці 1, для задачі детекції транспортних засобів модель YOLOv8m (medium) забезпечує оптимальний баланс між швидкістю інференсу та точністю, тому її обрано як базову для подальших експериментів.

Якість навчального набору даних є визначальним фактором точності нейромережевої моделі. Для анотування зображень використовують спеціалізовані інструменти – зокрема Roboflow Annotate, CVAT або LabelImg та його сучасні аналоги. Як джерело реальних даних дорожніх сцен може бути використано відкритий набір UA-DETRAC, що містить понад 140 тис. кадрів із розміткою транспортних засобів [3]. Процес підготовки даних включає: збір та відбір відеоматеріалів із різних камер та умов освітлення; розбивку відеозаписів на окремі кадри; розмітку об'єктів у форматі YOLO (нормалізовані координати центру, ширина та висота обмежувальної рамки); аугментацію даних для підвищення узагальнювальної здатності моделі.

Для роботи з відеопотоками у реальному часі використовується бібліотека OpenCV [4], яка надає зручний інтерфейс для отримання кадрів з IP-камер за протоколом RTSP. Узагальнену схему взаємодії компонентів системи наведено на рис. 1. IP-камера передає відеопотік за адресою вигляду `rtsp://[ip]:[port]/stream`; клас `cv2.VideoCapture` бібліотеки OpenCV підключається до потоку та послідовно зчитує кадри; кожен кадр після передобробки передається до моделі YOLOv8 для

інференсу; на етапі постобробки застосовується алгоритм пригнічення немаксимумів (NMS) та фільтрація за порогом впевненості; результати детекції – обмежувальні рамки, класи та значення впевненості – накладаються на відеокадр, який виводиться на дисплей або зберігається для подальшого аналізу.



Рис. 1. Узагальнена схема системи детекції транспортних засобів у реальному часі

Отже, запропонована система детекції транспортних засобів у режимі реального часу поєднує неймережеву архітектуру YOLOv8 з інтеграцією відеопотоків через протокол RTSP засобами OpenCV. Підтримка стандартного протоколу RTSP дозволяє інтегрувати рішення у вже наявну інфраструктуру відеоспостереження, що робить його придатним для систем управління міським трафіком, контролю в'їзду на паркування та охоронювані об'єкти, а також для формування статистики транспортних потоків. Подальші дослідження доцільно спрямувати на покращення детекції у складних умовах освітлення та оклюзії, а також на оптимізацію моделі для розгортання на вбудованих обчислювальних платформах [6].

Список використаних джерел

1. Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). *Ultralytics YOLOv8* (Version 8.0.0) [Computer software]. GitHub. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

2. Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement (arXiv:1804.02767). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.02767>
3. Wen, L., Du, D., Cai, Z., Lei, Z., Chang, M.-C., Qi, H., Lim, J., Yang, M.-H., & Lyu, S. (2020). UA-DETRAC: A new benchmark and protocol for multi-object detection and tracking. *Computer Vision and Image Understanding*, 193, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2020.102907>
4. Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 25(11), 120–125.
5. Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. In *Computer Vision – ECCV 2014* (pp. 740–755). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48
6. Weng, X., Wang, J., Held, D., & Kitani, K. (2020). 3D multi-object tracking: A baseline and new evaluation metrics. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 10359–10366). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IROS45743.2020.9341164>
7. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection (arXiv:2004.10934). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934>

Варвара СТРЕГЛОВА

студент

(orcid.org/0009-0000-3232-0306)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Володимир ДИВАК

кандидат педагогічних наук, доцент

(orcid.org/0000-0001-8014-815X)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ

Сучасне суспільство характеризується стрімким зростанням обсягів цифрових даних та активним впровадженням інформаційних технологій у повсякденне життя. Люди щодня взаємодіють з сервісами, які аналізують поведінку, передбачають дії та автоматизують рутинні

процеси. У більшості таких систем використовуються штучні нейронні мережі (рис. 1). Актуальність теми полягає в тому, що нейронні мережі вже інтегровані у звичні цифрові сервіси. Вони застосовуються у рекомендаційних системах, голосових помічниках, перекладачах та системах розпізнавання зображень. Це дозволяє підвищити зручність використання технологій та ефективність взаємодії людини з цифровим середовищем.

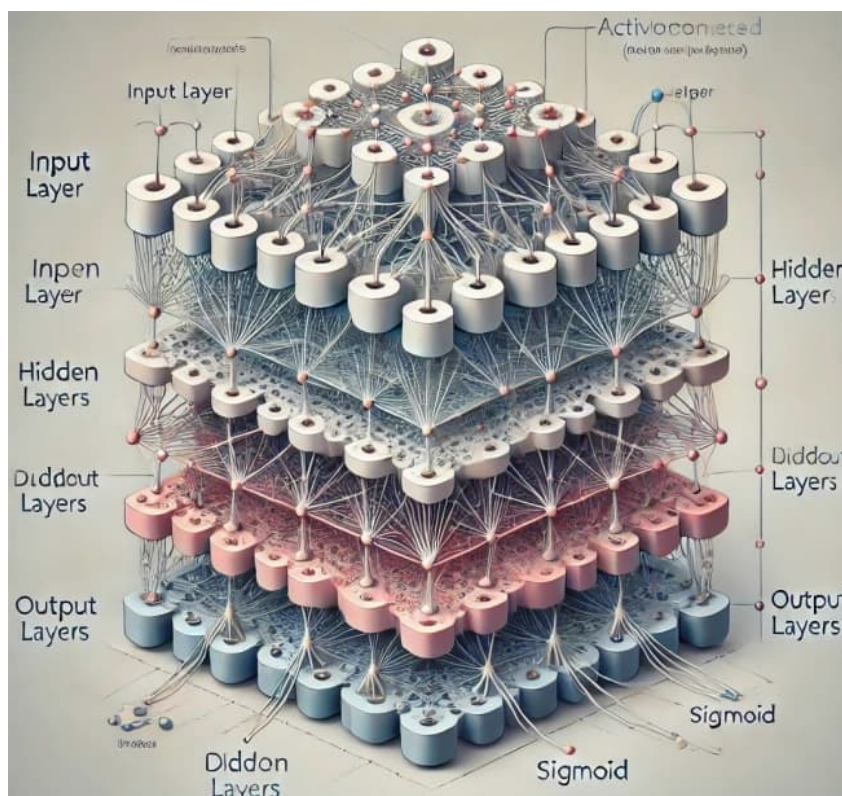


Рис. 1. Архітектура багатoshарової нейронної мережі

Згідно з дослідженням ThePower Education (2025), сучасні нейронні мережі здатні обробляти великі обсяги даних та адаптуватися до змін у поведінці користувачів. Це робить їх ключовим інструментом у розвитку сучасних інформаційних систем. Штучні нейронні мережі є математичними моделями, які імітують принцип роботи біологічного мозку (рис. 1).

Вони складаються з нейронів, які об'єднані у шари та взаємодіють між собою за допомогою вагових коефіцієнтів. Кожен нейрон отримує вхідні дані, обчислює їх зважену суму та передає результат через функцію активації, це наглядно показано на рис. 2.

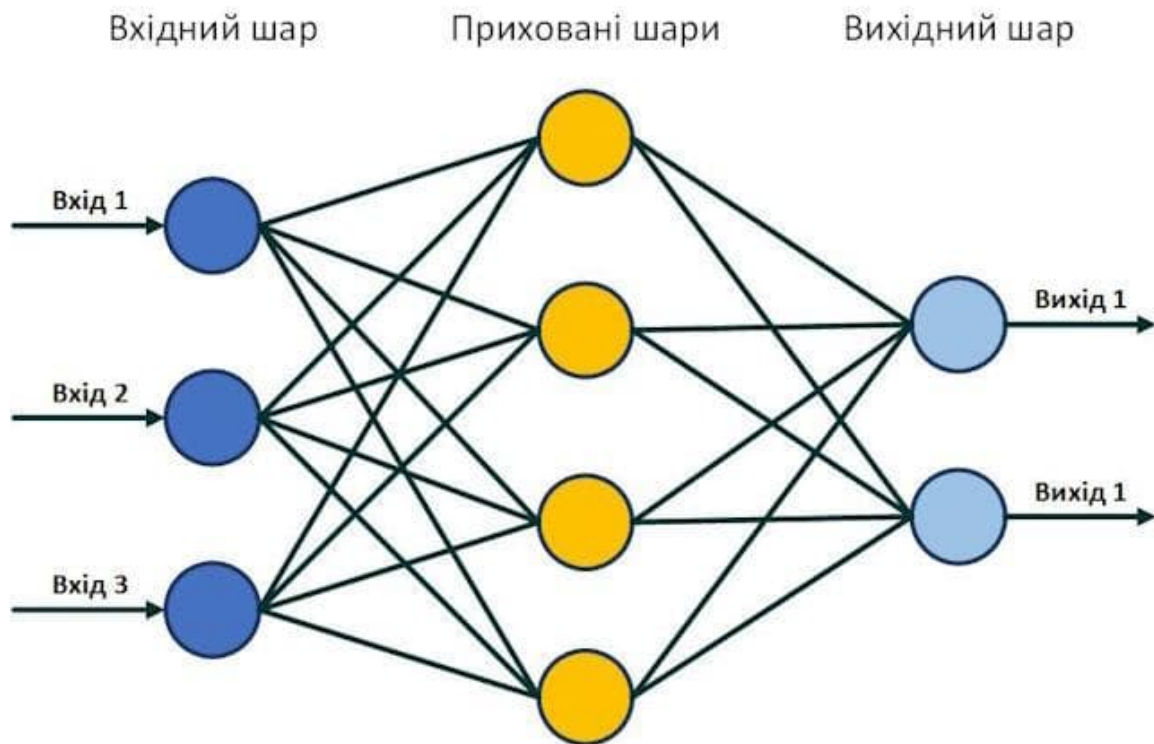


Рис. 2. Структурна модель штучного нейрона

Персептрон (математична модель штучного нейрона):

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (1)$$

де x_i – вхідні значення,
 w_i – вагові коефіцієнти,
 b – зміщення,
 f – функція активації.

Ця модель дозволяє перетворювати вхідні дані у вихідний результат. Під час навчання вагові коефіцієнти змінюються, що підвищує точність роботи мережі. Навчання відбувається на основі прикладів. Модель отримує вхідні дані та правильні відповіді, після чого визначає помилку та коригує свої параметри. Для оцінки якості роботи використовується функція втрат, зокрема середньоквадратична помилка:

$$MSE = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

Цей процес дозволяє мережі поступово покращувати результати.

Нейронні мережі активно використовуються у цифрових сервісах, що використовуються щодня. Однією з найбільш поширених сфер є рекомендаційні системи. Платформи, такі як YouTube та Netflix, аналізують історію переглядів, пошукові запити та поведінку користувача (приклад системи рекомендацій YouTube на рис. 3.)

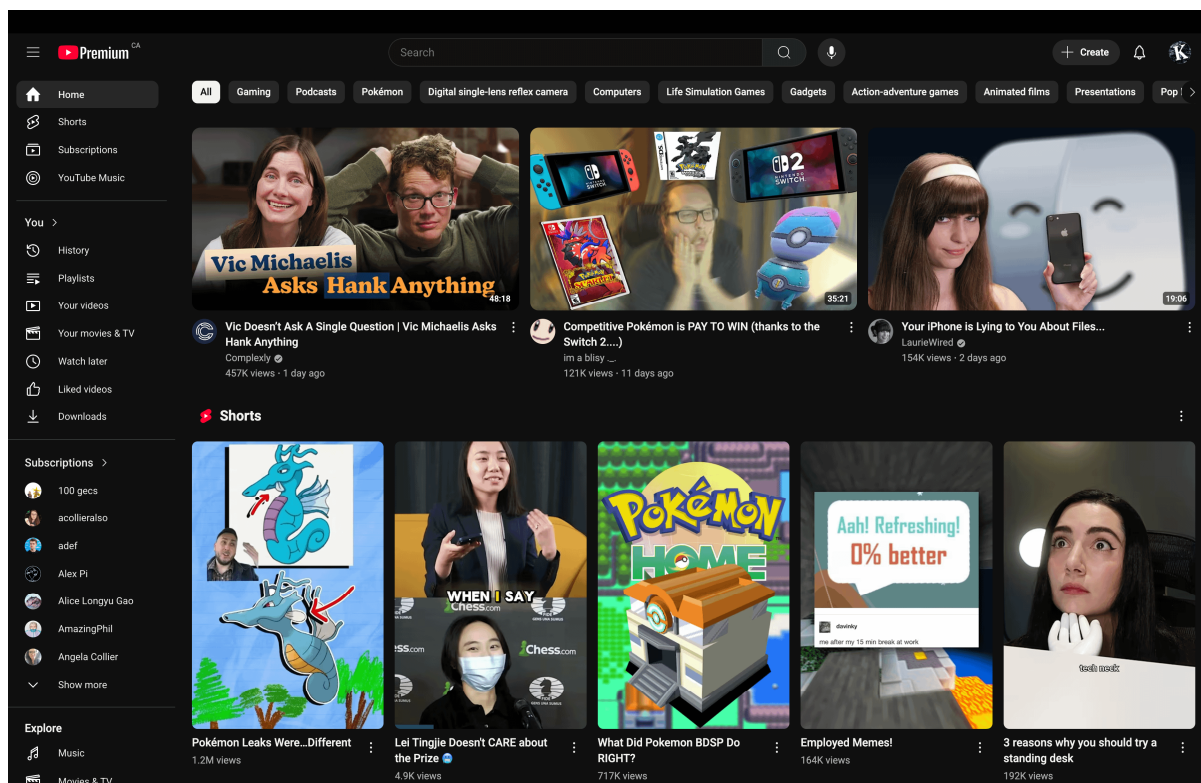


Рис. 3. Приклад роботи рекомендаційної системи

На основі цих даних формуються персоналізовані рекомендації. Такі системи дозволяють швидше знаходити потрібний контент. Вони враховують індивідуальні вподобання та постійно адаптуються до змін у поведінці користувача.

Ще одним важливим напрямом є голосові помічники. Системи розпізнавання мовлення, зокрема Google Assistant, використовують нейронні мережі для аналізу голосу та перетворення його у текст. Після цього відбувається обробка запиту та формування відповіді.

Нейронні мережі також застосовуються у системах машинного перекладу. Вони дозволяють автоматично перекладати тексти між різними мовами, зберігаючи зміст і контекст. Це значно спрощує комунікацію між людьми з різних країн. У сфері обробки зображень нейронні мережі використовуються для розпізнавання обличчя, об'єктів та сцен. Наприклад, камери смартфонів автоматично визначають об'єкти в кадрі та покращують якість зображення.

Штучні нейронні мережі мають ряд переваг, які забезпечують їх широке застосування. Вони дозволяють обробляти великі обсяги даних та знаходити складні залежності між параметрами. Це забезпечує високу точність результатів. Ще однією важливою перевагою є здатність до навчання. Модель адаптується до нових даних та покращує результати без повного перепроєктування системи. Разом з тим існують і недоліки. Нейронні мережі потребують значних обчислювальних ресурсів та великої кількості даних для навчання. Крім того, результати їх роботи складно інтерпретувати, що створює проблему так званого «чорного ящика».

Holmes та Zilinskaite (2026) підкреслюють, що якість навчальних даних безпосередньо впливає на результати роботи системи. Некоректні або упереджені дані можуть призводити до помилкових висновків.

Нейронні мережі стали невід'ємною частиною сучасного цифрового середовища. Люди використовують їх щодня, навіть не замислюючись про це. Вони забезпечують роботу рекомендаційних систем, голосових помічників та перекладачів. Їх основною перевагою є здатність ефективно працювати з великими обсягами даних та адаптуватися до змін. Це робить нейронні мережі універсальним інструментом для вирішення складних задач. Подальший розвиток цієї технології сприятиме ще більшій інтеграції штучного інтелекту у повсякденне життя та підвищенню ефективності цифрових сервісів.

Список використаних джерел

1. ThePower Education. (2025). Neural networks: What they are, types and applications in 2025. ThePower Blog. <https://thepower.education/en/blog/what-are-neural-networks-and-what-are-their-applications>
2. Google AI. (2025). Machine learning applications. <https://ai.google>
3. Microsoft. (2025). Artificial intelligence and everyday applications. <https://www.microsoft.com/ai>
4. Zhang, Y., & Wang, L. (2025). Understanding artificial neural networks as a transformative approach. Buildings, 15(18), 3346. <https://doi.org/10.3390/buildings15183346>
5. Holmes, A., & Zilinskaite, L. (2026). Chasing Utopia: Suffusing neural network training data with human benevolence and ethics. MIT Press.
6. YouTube. (2025). Recommendation system overview. <https://www.youtube.com>
7. Netflix. (2025). How recommendations work. <https://www.netflix.com>
8. Google Assistant. (2025). Voice recognition technology. <https://assistant.google.com>

Janusz SOBON

Prof. Dr Hab

(orcid.org/0000-0001-9161-6967)

The Jacob of Paradies University

Gorzów Wielkopolski, Poland

Ruslana SELEZNOVA

PhD, associate professor

(orcid.org/0000-0003-3080-773X)

State university of trade and economics

Kyiv, Ukraine

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTERNATIONAL FINANCE: OPPORTUNITIES, RISKS, AND FUTURE DEVELOPMENT

Globalization and digital transformation have fundamentally changed the structure of international financial markets. Financial institutions increasingly rely on advanced digital technologies to process information, manage investments, and improve decision-making processes. Among these technologies, artificial intelligence has emerged as one of the most influential innovations in the financial sector [1]. Artificial intelligence refers to computer systems capable of performing tasks that normally require human intelligence, including data analysis, pattern recognition, forecasting, and automated decision-making. In international finance, AI technologies enable banks, investment firms, insurance companies, and financial regulators to process massive volumes of financial data in real time. The integration of AI into international finance has accelerated due to the growth of big data, cloud computing, and machine learning algorithms [2]. Major financial organizations such as JPMorgan Chase, Goldman Sachs, and International Monetary Fund (IMF) actively invest in AI technologies for financial analysis and digital transformation.

The objective of this article is to investigate the role of artificial intelligence in international finance, identify its major applications, and analyse the opportunities and risks associated with its implementation.

Artificial intelligence combines several technological fields, including:

- machine learning;
- neural networks;
- natural language processing;
- predictive analytics;
- robotic process automation.

In financial systems, AI technologies are designed to improve operational efficiency, reduce human error, and optimize investment strategies. Machine learning algorithms analyse large financial datasets to identify patterns and predict market behaviour. These systems are capable of processing significantly more information than traditional analytical methods.

Algorithmic trading is one of the most advanced applications of AI in financial markets. AI systems analyse market data, economic indicators, and historical trends to execute trading decisions automatically.

Advantages of algorithmic trading include:

- rapid execution of transactions;
- reduction of emotional decision-making;
- improved market efficiency;
- real-time data analysis.

AI-based trading platforms are capable of processing millions of transactions within seconds, making financial markets more dynamic and interconnected. Risk management is a critical component of international finance. AI systems help financial institutions identify [3]:

- credit risks;
- market volatility;
- fraud risks;
- operational risks.

Machine learning models can predict potential financial losses by analysing customer behaviour, transaction histories, and macroeconomic indicators [4]. AI significantly improves the accuracy of financial forecasting and early-warning systems for global financial crises [5]. The increasing digitalization of financial services has created new cybersecurity challenges. AI technologies are widely used to detect suspicious activities and prevent financial fraud. AI systems can:

- monitor transactions in real time;
- identify unusual behavioural patterns;
- detect cyberattacks;
- prevent unauthorized access.

Banks and financial institutions increasingly rely on AI-driven cybersecurity systems to protect customer data and financial assets. Artificial intelligence has transformed modern banking systems through [6]:

- intelligent chatbots;
- automated financial consulting;
- personalized banking services;
- biometric identification systems.

Digital banking platforms use AI to improve customer experience and optimize operational efficiency. Virtual assistants can provide financial recommendations, process customer requests, and support multilingual communication. AI systems are capable of analysing global financial markets, political events, and economic indicators to generate investment forecasts. Applications include:

- portfolio optimization;
- stock market prediction;
- currency exchange analysis;
- commodity price forecasting.

Predictive AI models enable investors to make more informed decisions in highly volatile international markets.

The development of AI is closely connected with the growth of financial technologies (FinTech). FinTech companies combine digital innovation with financial services to create:

- mobile payment systems;
- digital currencies;
- peer-to-peer lending platforms;
- automated investment systems.

Artificial intelligence enhances the competitiveness of FinTech companies by improving automation and personalization. The emergence of decentralized finance (DeFi) also demonstrates the growing integration of AI, blockchain, and global financial systems.

Despite its advantages, artificial intelligence presents several important challenges. AI systems themselves may become targets of cyberattacks. Financial institutions face risks such as:

- data breaches;
- AI manipulation;
- algorithmic vulnerabilities;
- identity theft.

Ensuring cybersecurity remains one of the primary priorities in digital finance. AI decision-making systems may produce biased or non-transparent outcomes. Ethical concerns include:

- discrimination in credit scoring;
- lack of transparency;
- misuse of personal data;
- automated decision bias.

Financial institutions must ensure fairness, accountability, and transparency in AI systems [7]. Excessive dependence on algorithmic systems may increase market volatility. Automated trading systems can amplify financial crises and create rapid market fluctuations. Regulatory

organizations increasingly focus on controlling AI-based financial operations to ensure market stability. Artificial intelligence is expected to become one of the core technologies of future international finance. Future developments may include:

- fully automated financial institutions;
- AI-driven global payment systems;
- advanced predictive financial models;
- intelligent digital currencies;
- personalized financial ecosystems.

The integration of AI with blockchain, cloud computing, and quantum computing may fundamentally transform the global financial system. Financial specialists and computer scientists will play a crucial role in designing secure, efficient, and ethical AI-based financial infrastructures.

Artificial intelligence has become a major transformative force in international finance. AI technologies improve efficiency, automation, forecasting accuracy, and cybersecurity within financial systems. This study demonstrates that AI is widely applied in algorithmic trading, risk management, fraud detection, digital banking, and investment analysis. At the same time, the implementation of AI creates important challenges related to cybersecurity, ethics, and market regulation. The future development of international finance will increasingly depend on the successful integration of artificial intelligence into global financial infrastructures. Therefore, further research in AI technologies, financial regulation, and digital security remains essential.

References

1. Russell, S., Norvig, P. (2021) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016.) *Deep Learning*. MIT Press,
3. Hull, J. (2022) *Risk Management and Financial Institutions*. Wiley.
4. Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2014) *The Second Machine Age*. W.W. Norton & Company.
5. Retrieved from International Monetary Fund (IMF) on digital finance and AI.
6. Retrieved from JPMorgan Chase regarding AI applications in banking.
7. Retrieved from Goldman Sachs on financial technologies and algorithmic trading.

Михайло ВОЛОШИН

студент

(orcid.org/0009-0006-9765-2081)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Юрій ЮРЧЕНКО

старший викладач

(orcid.org/0000-0002-8047-7647)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

ПРОБЛЕМА ТРИВАЛОГО ВІДНОВЛЕННЯ (REBUILD TIME) RAID-МАСИВІВ НА БАЗІ МАГНІТНИХ ДИСКІВ ВЕЛИКОЇ ЄМНОСТІ: РИЗИКИ ТА СПОСОБИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Дане дослідження присвячене аналізу складнощів, пов'язаних із катастрофічним зростанням тривалості відбудови (Rebuild Time) у RAID-системах, що базуються на HDD надвисокого об'єму. У статті розглядаються математичні моделі ймовірності критичних відмов під час роботи масиву в деградованому режимі, описуються підходи до «сирого» (raw) вилучення інформації за умов краху логічної архітектури, а також пропонуються передові програмні методи (зокрема, WorkOut та PRO) для суттєвого прискорення процесу відновлення.

Швидке розширення хмарних середовищ та розподілених архітектур зберігання диктує необхідність безперервного збільшення місткості накопичувачів. Протягом останніх десяти років індустрія жорстких магнітних дисків зробила величезний крок уперед: обсяг окремих носіїв (HDD) сягнув позначки 18–22 ТБ і продовжує зростати. Такого прогресу вдалося досягти шляхом використання інноваційних підходів до ущільнення запису, серед яких ключову роль відіграють технології магнітного запису з перекриттям доріжок (SMR) та енергонезалежного підживлення (HAMR, MAMR).

Проте, незважаючи на колосальне розширення простору для даних, базові фізичні характеристики продуктивності (такі як час переміщення магнітних головок, швидкість обертання шпинделя та показник довільних операцій I/O за секунду) майже не еволюціонували. Подібна невідповідність швидкодії та місткості формує серйозну загрозу для традиційних відмовостійких систем, зокрема RAID 5 та RAID 6. Зростання об'єму накопичувачів експоненційно продовжує тривалість реконструкції масиву (Rebuild Time) у разі

виходу з ладу одного з дисків. Відбудова двадцяти терабайт інформації на активному сховищі, яке змушене паралельно відповідати на зовнішні запити клієнтів, нерідко займає цілі тижні. Відповідно, етап ребілду стає найбільш критичним та ризикованим часом у життєвому циклі всієї інфраструктури зберігання.

Для глибшого усвідомлення масштабів загрози варто проаналізувати механізм запису під час регенерації даних. У традиційних накопичувачах типу SMR магнітні доріжки розміщуються паралельно, гарантуючи ізольований перезапис секторів без зачіпання сусідніх ділянок. На противагу їм, носії SMR використовують принцип часткового накладання доріжок одна на одну, що візуально нагадує укладання дахівки.

У процесі відбудови масиву контролер генерує гігантський потік нелінійних (випадкових) запитів на запис для відтворення пошкоджених страйпів. Саме такий формат навантаження є найбільш деструктивним для SMR-дисків, адже модифікація бодай одного фрагмента інформації змушує пристрій спочатку зчитати, а потім повністю перезаписати цілу «зону» перекритих доріжок. Цей ефект отримав назву «штраф за запис» (Write Penalty). Він здатен обвалити лінійну швидкість регенерації масиву до катастрофічних 10–20 МБ/с, через що вікно вразливості розширюється до сотень годин.

Головна небезпека криється в тому, що надто довге знаходження сховища у статусі деградації (Rebuild Window) радикально підвищує шанси на настання другої, фатальної відмови. У цей проміжок часу всі робочі диски функціонують на межі своїх можливостей (100% навантаження), безперервно зчитуючи блоки для розрахунку контрольних сум. Такий екстремальний режим експлуатації механіки нерідко призводить до прояву прихованих фізичних вад – невідновлюваних помилок читання (URE), які масово виникають на робочих носіях.

Для точного моделювання надійності таких систем використовують математичний апарат марковських ланцюгів із безперервним часом (СТМС). Відповідно до цієї математичної моделі, масив може перебувати у трьох базових статусах (рис. 1).

Розрахунки доводять існування чіткої експоненційної залежності: що довше система намагається повернутися з деградованого стану (Стан 2) до нормального, то вищою є ймовірність її остаточного руйнування [1]. Згідно з науковими працями, цей архітектурний недолік простежується в будь-яких топологіях – починаючи від стандартних серверних інфраструктур і закінчуючи проєктами надстійких орбітальних баз даних (O-RAID). В останніх саме логістична затримка на відновлення вузла (запуск нового супутника) стає ключовою причиною ризику повної втрати інформації [1].

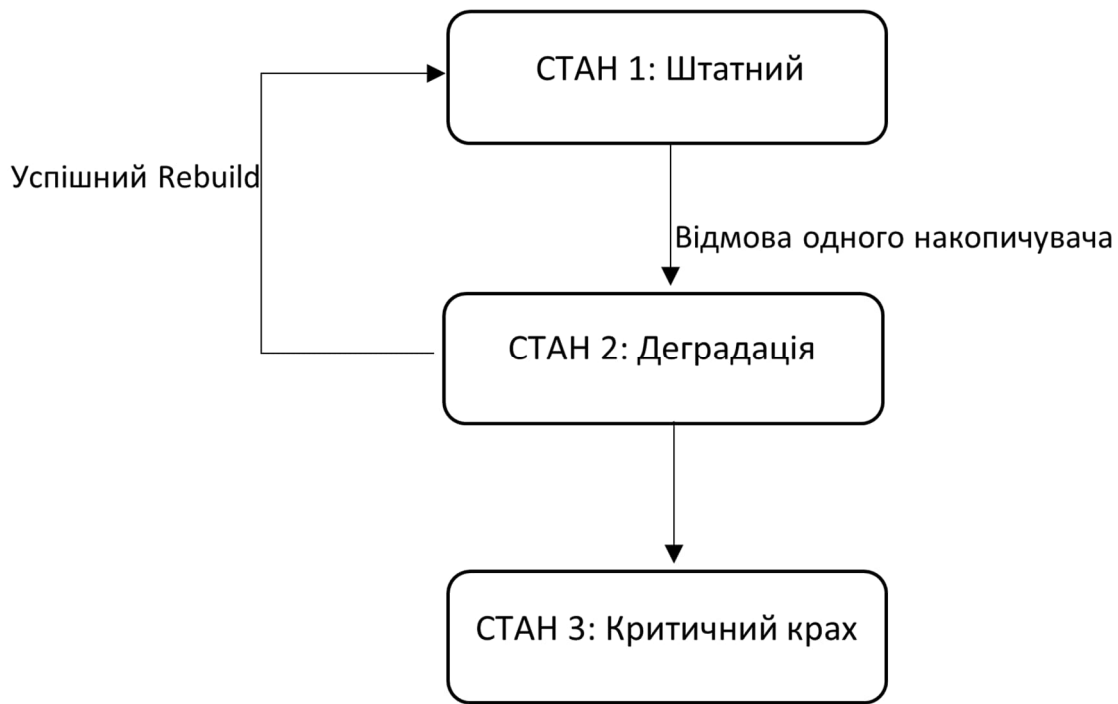


Рис. 1. Структурна схема переходів станів RAID-масиву за моделлю CTMC

Якщо під час затяжної відбудови масиву виходить з ладу ще один накопичувач (наприклад, у топології RAID 5) або ж з'являється критична кількість URE-помилки, внутрішня логіка масиву колапсує. Апаратний контролер фіксує незворотне пошкодження цілісності, блокує доступ користувачів, і масив отримує статус «Недоступний та пошкоджений» (Damaged and Inaccessible).

За таких обставин базові протоколи відновлення RAID-контролера виявляються повністю нерезультативними, і бізнес опиняється перед загрозою втрати всіх даних. Експерти з інженерії відновлення інформації наголошують, що порятунок файлів у таких ситуаціях можливий лише через застосування екстремальних технологій «сирого» (raw) зчитування інформації безпосередньо з магнітних пластин [2]. Ця процедура є багатоетапною та надзвичайно складною. Вона включає побайтове копіювання вцілілих фрагментів з ігноруванням апаратних помилок (процес Data Carving), подальшу віртуальну емуляцію роботи оригінального транслятора та алгоритмічні спроби реконструкції втрачених блоків парності з використанням спеціалізованого софту. Подібні заходи не просто коштують дуже дорого і вимагають значних ресурсів, але й не дають абсолютної гарантії успіху. Часто спроби відновити складну файлову систему чи фрагментовані бази даних з розваленого RAID закінчуються частковою втратою інформації [2].

Для обходу фізичних бар'єрів механічних накопичувачів традиційна практика виділення гарячого резерву (Hot Spare) вже довела свою неефективність. Актуальне розв'язання проблеми лежить у площині інтеграції «розумних» алгоритмів керування I/O-потокami безпосередньо в архітектуру контролерів або ж переходу до програмно-визначених середовищ (SDS). Сучасна IT-індустрія пропонує ефективні механізми для звуження вікна Rebuild Time, порівняння яких наведено у таблиці 1.

Оптимізація реконструкції на основі популярності (PRO). У застарілих архітектурах RAID відбувається сліпе лінійне відновлення, що вкрай неефективно, адже система марнує ресурси на обробку порожнього місця чи непотрібних архівів. Алгоритм PRO змушує систему спочатку регенерувати найзатребуваніші («гарячі») блоки. Це дає змогу відновити надання критично важливих сервісів за лічені хвилини [3].

Аутсорсинг навантаження вводу-виводу (технологія WorkOut). Основний фактор уповільнення ребілду – це перманентний конфлікт між завданням послідовного запису (генерація парності) та довільними запитами від клієнтів. Підхід WorkOut пропонує тимчасове перенаправлення усіх нових операцій запису на вільні SSD-диски чи інші вузли. Завдяки цьому деградований масив повністю звільняється від зовнішнього навантаження і фокусується виключно на відбудові пошкоджених секторів із максимально можливою лінійною швидкістю [3].

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів відновлення RAID-масивів

Назва методу	Принцип роботи під час деградації	Вплив на вікно вразливості (Rebuild Time)
Класичний ребілд	Сліпе лінійне відновлення від нульового сектора до останнього.	Максимальна вразливість через конфлікт запитів та «штраф за запис» (SMR).
Метод PRO	Динамічне сканування метаданих для пріоритетного відновлення «гарячих» блоків (БД, конфігурації).	Швидке повернення критичних сервісів у роботу; фонове відновлення «холодних» даних.
Метод WorkOut	Аутсорсинг (перенаправлення) нових операцій запису на альтернативні швидкісні пули (наприклад, SSD).	Радикальне скорочення часу ребілду завдяки усуненню конкуренції за I/O вцілілих дисків.

Проблема зтяжного відновлення масивів на базі сучасних HDD великої ємності визнана одним із найбільш серйозних бар'єрів у розвитку класичних RAID-технологій. Сильна диспропорція між величезними обсягами пам'яті (завдяки SMR) та застарілою швидкістю механіки породжує неприпустимо високий рівень ризику фатального збою під час регенерації даних. Щоб гарантувати максимальну відмовостійкість у сучасних реаліях, необхідно остаточно відмовитися від жорсткої лінійної апаратної логіки. Лише впровадження гнучких алгоритмів оптимізації потоків (на кшталт аналізу популярності PRO та розподілу навантаження WorkOut) дозволяє ефективно мінімізувати термін перебування масиву в деградованому стані та надійно захистити корпоративну інформацію від безповоротної втрати.

Список використаних джерел

1. Zhang, R., Wang, H., et al. (2026) O-RAID: a satellite constellation architecture for ultra-resilient global data backup. Scientific Reports, Vol. 16, Article 4321. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-026-38784-1>
2. Yermolov, S. (2025) Methods for Data Recovery from Damaged and Inaccessible RAID Arrays. Emerging Frontiers Library for The American Journal of Engineering and Technology, Vol. 2(3). URL: <https://emergingsociety.org/index.php/efltajet/article/view/268>
3. Shu, J. (2024) Data Storage Architectures and Technologies. Chapter 7: Data Reconstruction Optimization in RAID. Springer, Singapore, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-3534-1_7

Анастасія ЛЯГЕРА

аспірант

(orcid.org/0009-0007-7143-1536)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Олександр ХАРЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент

(orcid.org/0000-0002-9255-9287)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

SHAREPOINT FRAMEWORK ТА ЙОГО ПЕРЕВАГИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Застосування інформаційних технологій для ефективної організації освітнього процесу останнім часом зазнало значних змін. Переважна більшість закладів вищої освіти успішно застосовує велику кількість додатків, що забезпечують комунікацію та обмін навчальними матеріалами між студентами та викладачами. Проте із поширенням сучасних тенденцій таких, як адаптивне навчання, гейміфікація, мікронавчання, гібридне навчання та інші, може виникати необхідність розширення або удосконалення функцій поточних технологій, що використовуються освітніми закладами, з метою мінімізації різноманіття застосунків, що дозволяє сконцентрувати усі навчальні матеріали в межах однієї платформи. Такий підхід сприяє полегшенню взаємодії користувачів з платформою та мінімізує ризики витоку персональних даних. Так, у випадку використання Teams та інших застосунків з екосистеми Microsoft 365, для організації навчального процесу у межах закладу вищої освіти, наявна можливість розширення або доповнення функціоналу існуючих технологій з використанням SharePoint Framework [1]. Завдяки застосуванню сучасних бібліотек доступною є розробка веб-частин, що можуть використовуватись для персоналізації навчального процесу зі сторони студента, з відповідним відображенням поточних задач, досягнень та матеріалів або організації навчально-методичних матеріалів в межах певних дисциплін зі сторони викладача. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне зберігання файлів та навчальних матеріалів, оскільки доступ та використання

веб-частин здійснюється на основі дозволів, що були надані авторизованому користувачу в середовищі університету. З метою забезпечення захисту файлів від випадкових змін або відстеження особливостей роботи з певними ресурсами, система фіксує хто саме з користувачів завантажував, переглядав або редагував відповідний файл. У випадку виникнення потреби розгортання створених для SharePoint компонентів у Microsoft Teams як окремої вкладки, інтеграція не викликає складнощів, а користувачі отримують можливість взаємодіяти з додатковим функціоналом не покидаючи меж середовища комунікації. Окрім звичайних проєктів на JavaScript, ефективним підходом є розробка з використанням фреймворків: React, Angular, Vue.js та інших, а застосування компонентів Fluent UI забезпечує комфортне використання розроблених веб-частин, оскільки інтерфейс у цьому випадку є подібним до стандартних застосунків екосистеми Microsoft 365 («Overview of SharePoint client-side web parts», б. д.) [2]. Тому розміщення вкладок Teams та інших додатків у SharePoint усуває необхідність залучення додаткових ресурсів, спрощує процес розгортання та знижує загальну вартість рішення [1].

Отже, розширення функціоналу наявних додатків з екосистеми Microsoft 365 за допомогою SharePoint Framework сприяє підвищенню персоналізації у роботі з навчальними матеріалами та покращенню комунікації для усіх учасників навчального процесу, не спричиняючи додаткових ризиків втрати або пошкодження даних в процесі роботи з ними та не вимагає надмірних фінансових витрат.

Список використаних джерел

1. Build for microsoft teams using sharepoint framework. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sharepoint/dev/spfx/build-for-teams-overview>
2. Overview of SharePoint client-side web parts. (б. д.). URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sharepoint/dev/spfx/web-parts/overview-client-side-web-parts>

Альона ДЕСЯТКО

PhD, доцент

(orcid.org/0000-0001-9695-4543)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

Валерій ЛАХНО

доктор технічних наук, професор

(orcid.org/0000-0001-9695-4543)

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

м. Київ, Україна

ПРОЄКТУВАННЯ ЯДРА КОГНІТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ЛОГІСТИКИ ПІДПРИЄМСТВА ТОРГІВЛІ

Основною задачею при побудові інформаційних систем підприємства є проєктування їхнього ядра, яке визначає ефективність збору, обробки, агрегації інформації та прийняття управлінських рішень. Особливо це стосується інформаційно-управляючих систем (ІУС), де необхідно враховувати специфіку предметної області, динаміку бізнес-процесів, вимоги до когнітивної підтримки та роботу в реальному часі.

Згідно з авторським визначенням, інформаційно-управляюча система логістики підприємства торгівлі (ІУСЛПТ) – це інформаційна система, яка працює в реальних умовах, має складові, що проводять агрегацію інформації, та надає управлінські рішення, спрямовані на максимізацію прибутку, керуючись інформаційними потоками логістики. Для такої системи ключовим елементом виступає ядро, яке в дослідженнях реалізоване у вигляді штучної нейронної мережі, що самонавчається, аналізує дані про продажі, враховує зовнішні чинники та формує пропозиції щодо поповнення запасів [1].

Важливим та актуальним підходом до проєктування ядра когнітивної ІУСЛПТ являється використання технологій на основі нейромережевих алгоритмів з урахуванням специфіки логістики підприємства торгівлі, а саме побудова ядра як сервер-аналізу, що являє собою штучну нейронну мережу, яка забезпечує цілісне функціонування інформаційної системи. Функціонально ядро [1]:

- забезпечує спілкування між усіма вузлами системи (клієнтські додатки, база даних Firebase, сервер);

- виконує первинний аналіз даних про продажі (кількість, час, дата, асортимент);
- враховує аліаси – дані-донори від інших магазинів мережі або зовнішніх джерел;
- аналізує вплив зовнішніх чинників (сезонність, свята, акції, погодні умови тощо);
- формує для кожного магазину (клієнта) список необхідних товарів із пропонованою кількістю поставки на наступний період.

Архітектурно ядро інтегроване з базою даних (Firebase), яка створена за технологією «клієнт-сервер» і включає 11 нормалізованих таблиць (логічна та фізична моделі наведені в дослідженнях). Клієнтська частина реалізовується у вигляді мобільного додатку (Android Studio, Java).

Алгоритм роботи ядра передбачає два сценарії залежно від наявності попередніх даних [1, ст. 227–229].

Сценарій 1 – відсутність попередніх даних (новий клієнт, немає аліасів)

1. Система отримує дані про початковий стан складу та продажі за період.
2. Проводиться аналіз кожної товарної позиції:
 - о якщо залишок товару на складі менший за кількість проданих одиниць → до списку постачання додається позиція з розрахунком:

$$\text{необхідна кількість} = (\text{продажі} - \text{залишок}) \times (1 + \delta), \quad (1)$$
 де $\delta = 5\%$ (похибка на можливе зростання попиту);
 - о якщо залишок більший або дорівнює продажам, то товар не постачається.
3. Дані про прийняте рішення (навіть про «ігнорування» позиції) зберігаються в БД із детальним записом (дата, час, кількість) для подальшого навчання.

Сценарій 2 – наявність історії продажів або аліасів

1. Система передає дані про поточний стан складу та продажі за останній період до нейромережі.
2. Нейромережа на основі всіх попередніх даних клієнта (або даних-донорів) формує прогноз потенційних продажів кожної позиції на наступний період, враховуючи час, дату, динаміку.
3. Розраховується рекомендована кількість поставки:

$$\text{КП} = \text{прогноз} \times (1 + \varepsilon), \quad (2)$$

де $\varepsilon = 10\%$ – похибка планування.

4. Рішення зберігається в БД з позначкою «результативність = 0%» (початкова).
5. Після завершення періоду система порівнює фактичні продажі (КПр) із поставленою кількістю (КП):
 - о Якщо $КП - 10\%$, $КП - КПр = 0$, то результативність встановлюється 100%;
 - о якщо продажів менше з урахуванням похибки:
$$P = 100\% - H\%,$$
де H – відсоток нереалізованого товару;
 - о якщо поставки було недостатньо – результативність 0%.
6. Отримане значення результативності передається серверу аналізу для «навчання» нейронної мережі (коригування вагових коефіцієнтів).
7. Після навчання нейромережа формує новий список постачання на наступний період, і цикл повторюється.

Провівши порівняння характеристик запропонованої ІУСЛПТ з загальноприйнятими критеріями когнітивних інформаційних систем, встановлено, що система відповідає всім дев'яти критеріям [1, 2]:

- має ієрархічну структуру цілей (глобальна мета – максимізація прибутку, підцілі – оптимізація запасів, прогнозування тощо);
- адаптивна – змінює рішення залежно від власного стану та стану середовища;
- використовує знання про себе та оточення, планує дії на основі накопичених даних;
- здатна навчатися як із зовнішнім учителем (логіст коригує рішення), так і самостійно (автоматичне коригування ваг);
- використовує зворотний зв'язок (результативність попередніх рішень);
- прогнозує результати можливих дій;
- враховує поточний контекст (сезон, акції, зовнішні чинники);
- працює з семантично інтерпретованими даними (назви товарів, категорії, ціни);
- взаємодіє з людиною-оператором (логіст) – перевіряє та за потреби коригує рекомендації нейромережі [1, 2].

Таким чином, запропонований підхід до проєктування ІУСЛПТ надає можливість отримати *когнітивну систему на основі класичної архітектури* (фіксована база даних + знання, що набуваються шляхом навчання). Враховуючи дане твердження маємо можливість перебудувати готові архітектури шляхом введення когнітивного ядра. Зазначимо, що на початкових етапах функціонування вплив оператора-логіста є переважним, але в міру накопичення даних і навчання

мережі він зводиться до контролюючої функції. Нейромережа використовує зворотний зв'язок за результативністю для коригування власних прогнозів. Система має всі ознаки когнітивної інформаційної системи та може бути складовою Smart City.

Список використаних джерел

1. Десятко, А. М. (2020). *Інформаційна управляюча система логістики підприємства торгівлі* (Дисертація доктора філософії). Київський національний торговельно-економічний університет. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0821U100266/>
2. Буров Є. Архітектура опрацювання знань у когнітивній інформаційній системі. 2009. URL: http://vlp.com.ua/files/special/04_0.pdf.

Ігор ТИЩЕНКО

PhD з комп'ютерних наук, доцент
(orcid.org/0000-0003-1813-0797)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

АЛГОРИТМ ПРЕВЕНТИВНОГО ЗАХИСТУ Й POST-BAN RECOVERY АКАУНТІВ МЕТА У ПРАКТИЦІ SMM У РАЗІ ПОРУШЕНЬ ПОЛІТИКИ МЕДІАФАЙЛІВ

Починаючи з листопада 2025 року корпорація Meta, що є власником платформ Facebook, Instagram та інших споріднених на платформі Meta business suite додатків, змінила правила та методи під час завантаження нового медіа контенту, а також під час обробки скарг. Так, на згаданих платформах за перевірку, блокування та розблокування акаунтів відповідають AI агенти [1]. Автоматична перевірка дає змогу розвантажити працівників та оптимізувати функціонування платформи.

Платформа Facebook не має своїх адміністраторів для користувачьких акаунтів, так як це вважається користувацькою сторінкою. Єдина можливість отримати в підтримку менеджера, це платно – через підписку Meta Verified. Для всіх інших особистих – взаємодія користувачів з менеджерами можливі лише через Meta Pro Team. Натомість, бізнес-користувачі мають змогу окремо по спілкуватись з

адміністраторами Ads Manager стосовно рекламних кабінетів та окремо з технічною підтримкою Meta business suite стосовно монетизації контенту на сторінках.

Платформа Instagram з технічного персоналу має лише інженерів, які не мають окремих менеджерів для обробки заявок, а лише перевіряють верифіковані менеджерами Meta Pro Team заявки. Повторна перевірка інженерами відсутня і доступна лише за нової заявки, при умові, що порушення, які були висунуті акаунту користувача не порушують законодавства країни, резидентом якої є користувач.

У разі, якщо були порушені закони – акаунту разом з ім'ям користувача блокуються без можливості повторного розгляду. Повторний розгляд не можливий за умови, що справі назначається номер і повторна справа не буде відкрита, поки попередня справа не буде закрита. Інженери Instagram спілкуються виключно через одноразові токени з верифікацією користувач. Виходячи з вищесказаного можна сформулювати алгоритм процесу розгляду заявок менеджерами Meta Pro Team (рис. 1).

Відправка на розгляд заявки не гарантує потрапляння звернення до інженера і не гарантує розблокування, так як кожна заявка також підпадає під AI перевірку. За умови, що система пропустить заявку до інженера – буде відправлений одноразовий токен на e-mail користувача для подальшої роботи по розблокуванню.

Однак, процес першопочаткової перевірки постів AI агентами не є досконалим, так як він не має можливості розпізнати сценарій світлин, а лише розпізнає певні об'єкти. Це залишає простір для апеляції, але не гарантує захисту від повторного блокування. Блокуванню запобігти наперед не можливо, адже кожен користувач має право залишати скаргу на контент, і якщо за короткий проміжок часу надходить кілька скарг – алгоритмом Meta AI автоматично виставляє обмеження до моменту, поки не пройде мануальна перевірка (вручну спеціалістами). При відсутності наявної причини скарг – активують акаунт.

Якщо акаунт користувача не порушував правил протягом свого існування, то сторінка потрапляє на розгляд AI агента тільки за наявності періодичних скарг від різних користувачів на масив постів протягом одного тижня. Правила, які не повинен порушувати користувач:

1. Не входити зі свого пристрою в жоден інший особистий профіль Facebook, так як пристрій має IP адресу, яка вже закріплена за певним акаунтом.

2. Користувач повинен мати лише один особистий профіль на платформі.

При вході зі свого пристрою в інший профіль – система вже може залочити акаунт за підозрілі дії.

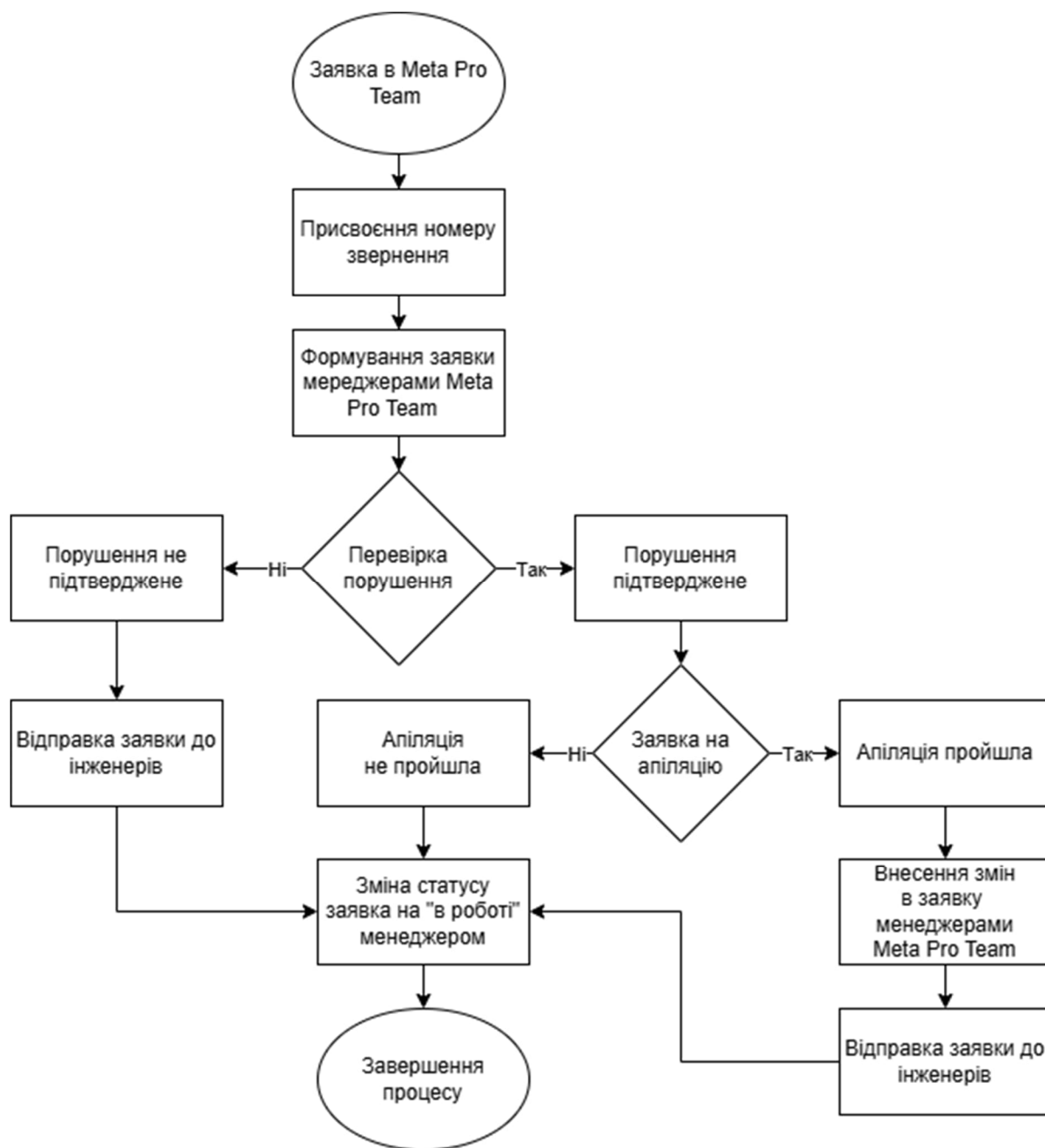


Рис. 1. Процес розгляду заявок менеджерами Meta Pro Team про виявленні порушень [2–4]

Існують превентивні дії, які допомагають уникнути перевірки AI агентами. Це підняття статус рекламних асетів, верифікацією Business Manager. Нажаль, даний спосіб не працює в більшості користувачів,

які не мають рейтингу довіри в Meta Pro Team. Але є алгоритм, яким чином можна обійти заборону та отримати можливість верифікувати Business Manager.

Алгоритм доступу до верифікації Business Manager (розроблено автором):

1. Відкрийте <https://developers.facebook.com/>
2. Увійдіть в свій особистий бізнес профіль або зареєструвати новий.
3. Перейти у MyApps та створити програму.
4. Додати програму до свого Business Manager.
5. У розділі Use Cases перейти до Customize та натиснути Start Verification.
6. Отримати номер додатку (це номінальна дія, щоб продовжити налаштування).
7. В налаштування Business Manager в розділі «Мої додатки» додати номер додатку.
8. Перейти до обраного Business Manager, де кнопка верифікації вже буде активної.
9. Документально підтвердити статус Юридичної особи або фізичної особи підприємця.

Після верифікації акаунту перевірка з боку AI агентів буде мінімальною. Але система буде більше акцентувати увагу на шахрайстві та посиланнях, які публікує користувач.

Система має ряд обмежень щодо подальших дій користувача у верифікованому акаунті, а саме (розроблено автором):

- Не допускається використання особистих карток та заклику до оплати на сторінках соціальних мереж.
- Не допускається використання зображень, що мають подвійний підтекст. Під подвійним підтекстом розуміються предмети, пози, візерунки, фон. Все, що може асоціюватись із тематикою, забороненою на платформі.
- Не допускається використання розмитих елементів на тілі людини, навіть якщо це бренд. Порушення даного правила призводить до системного блокування охоплення та методичного послідовного блокування постів з вимогою видалити зображення.
- Не допускається використання брендів, без відмітки офіційних сторінок брендів.

Виявлені обмеження зменшують охоплення та вимагають від користувача встановити мінімальний вік на всі свої послуги – 25 років. Встановлене обмеження блокує доступ в рекомендаціях сторінкам, які підключили до свого центру акаунтів профілі WhatsApp та не

вказали вік в налаштуваннях даного месенджера. Менший віковий ценз дозволяє отримати доступи до інформації неповнолітнім, що після справи щодо порушення закону штату Mississippi про вікову верифікацію в соцмережах (NetChoice v. Fitch / HB 1126, 2024–2025) суворо заборонено платформами Facebook, Instagram, Snapchat, YouTube, X, а також політикою корпорацій Meta, Google та Snap [5].

Список використаних джерел

1. Meta. (2026, March 19). Boosting your support and safety on Meta's apps with AI. Meta Newsroom. <https://about.fb.com/news/2026/03/boosting-your-support-and-safety-on-metas-apps-with-ai/>
2. Meta. (2026). Types of IDs that Facebook accepts. Facebook Help Center. <https://www.facebook.com/help/159096464162185>
3. Meta. (2026). How two-factor authentication works on Facebook. Facebook Help Center. <https://www.facebook.com/help/148233965247823>
4. Meta. (2026). About two-factor authentication for your business portfolio. Meta Business Help Center. <https://www.facebook.com/business/help/865384580786591>
5. NetChoice, LLC v. Fitch, No. 25A97 (U.S. Aug. 14, 2025). https://www.supremecourt.gov/opinions/24pdf/25a97_5h25.pdf

Володимир ДИВАК

кандидат педагогічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0001-8014-815X)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ «BAS. МАЛИЙ БІЗНЕС» У ПЛАНУВАННІ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

Актуальність даної теми зумовлена коригуванням господарської діяльності підприємств до викликів з якими стикається бізнес у сучасних умовах, особливо в Україні: війна, руйнування логістики, енергетична нестабільність, дефіцит кадрів, висока інфляція та необхідність

швидкої цифровізації. Моніторинг економічної діяльності є однією з ключових функцій управління підприємством, оскільки забезпечує контроль поточних витрат і доходів; сприяє проведенню аналізу фінансового стану підприємства; підтримує планування майбутніх фінансових потоків. В останні роки успіх підприємств безпосередньо пов'язаний з рівнем і якістю застосування інформаційних систем, які використовуються для збору, обробки та подачі інформації з фінансового планування і прогнозування економічної діяльності підприємств, а також здатністю підприємств ефективно використовувати цю інформацію. Ми притримуємося думки про те, що використання інформаційної системи «BAS Малий бізнес» в економічній діяльності, у підсумку може принести фінансовий прибуток підприємствам. Нами розглянуто інформаційну систему «BAS. Малий бізнес» та наведено певні методичні вказівки щодо практичного застосування у моделюванні фінансово-економічної діяльності компаній для підвищення своїх доходів. Дослідженням питань автоматизації економічного менеджменту, зокрема процесу планування та прогнозування, присвячено багато праць як зарубіжних, так і вітчизняних науковців. В. Дивак, О. Пурський та інші аналізують технологію побудови фінансової моделі підприємства із застосуванням інформаційних систем [1]. Вчені J. Merkevicus, V. Davidaviciene, J. Raudeliuniene, та J. Buleca розкривають вплив інформаційних систем на загальну ефективність бізнесу та досліджують питання впровадження інтегрованих інформаційних систем у фінансову діяльність підприємств з метою отримати конкурентну перевагу, підвищення своїх економічних показників, продуктивності і ефективності праці [2]. Z. Fakhroni, I. Ghozali, P. Harto, E. N. A. Yuyetta у своїй праці проводять аналіз фірм-виробників та визначають інформаційну модель (базу) у пам'яті комп'ютера, яка дозволяє виконати розрахунок прибутковості фірм та провести фінансовий аналіз їх результатів [3]. S. Kraus, S. Durst, J. Ferreira, P. Veiga, N. Kailer та A. Weinmann зазначають, що ефективність фінансової діяльності компаній досягається з використанням модернізованих та новітніх інформаційних технологій [4]. Тому впровадження інформаційних технологій в компаніях, в умовах висококонкурентного ринку, є досить актуальним, оскільки сприяє підвищенню рівня прибутковості сучасного підприємства. Проте праці цих вчених не повною мірою розкривають всю специфіку питання важливості моделювання економічної діяльності підприємств пов'язаних з виробництвом, плануванням та реалізацією товарів. Тому актуальними є вивчення питання використання сучасних інформаційних систем які охоплюють відомості розробки бізнес-

планів, маркетингової стратегія, визначення критичних бізнес-процесів, таких як, зміни на ринку матеріалів та комплектуючих для виробництва, ринку праці та валютному курсі тощо.

Модель розрахунку фінансового результату економічної діяльності компанії складається з початкових та розрахункових фінансово-економічних показників, які згруповані в окремі групи даних (рис. 1). Наведемо короткий текстовий опис моделі підприємства з виробництва та продажу журнальних столиків. Вихідні дані моделі: підприємство ТОВ «Одеські меблі» займається дрібносерійним виробництвом журнальних столиків та реалізує їх за оптовою та роздрібною ціною. Наше завдання полягає в організації виробництва даного товару в кількості 1 шт., виробник «основний підрозділ», операція «збирання». Також необхідно провести резерв даного товару на основі замовлення покупця ПП «Світ меблів» за договором № 4 від 01.01.2020 року на постачання меблів за ціною 1200 грн, та знижкою 5%, запланувати оплату та перемістити товар до основного підрозділу підприємства. За операційним планом чистий прибуток підприємства ТОВ «Одеські меблі» має скласти 1140 грн.



Рис. 1. Модель розрахунку фінансового результату економічної діяльності підприємства

До початку виробництва журнального столика складські залишки даного товару мають наступні показники: по основному складу залишок складає 20 шт., в резерві 2 шт., вільно 18 шт.; по складу готової продукції залишок складає 3 шт., в резерві 2 шт., вільно 1 шт. (рис. 2). [5]

← → ☆ Номенклатура

> Фільтри

Створити Продати - Купити - Пошук (Ctrl+F) Ще -

Найменування	Вільно	В резерві	Од. вим.	Оптова ціна	Артикул
Деревообробний верстат WM1922 Sturm			шт		
Дзеркальні двері шафи-купе вільха		50,000	шт		
Доставка матеріалів постачальником		2,000	год		
Електроенергія			кВт·г		
Єврогвинт шестигранник 7x50			шт		
Єврошуруп з овальною голівкою 6,3x13	2 760,000		шт		
Журнальний столик	20,000	3,000	шт	1 500,00	
Журнальний столик (індивідуальне замовлення)		1,000	шт		
З'єднання кутове стільниці AL H=40мм	130,000		шт		
З'єднання пряме стільниці AL мет.	280,000		шт		
Завантаження меблів на транспорт замовника			год		
Завантаження та розвантаження			год		
Заглушка МаксiФікса d36мм беж. Hafele	10 000,000		шт		
Заглушка самоклеюча	3 494,000		шт		
Заглушка саморіз	11 760,000		шт		
Конт. ПОЗР	2 000	08 000			

Склад

Склад	Залишок	В резерві	Вільно
Основний склад	20,000	2,000	18,000
Склад готової продукції	3,000	2,000	1,000

Ваш кошик: **перетягніть товари**

Замовлення покупця

Категорії ☒ Групи

<Всі групи>

- Готова продукція
- ДВП та ДСП
- Комплектуючі для шаф-купе
- Майно (основні засоби)
- Метизи та гвинти
- Послуги сторонніх організацій
- Роботи

Журнальний столик

Немає аналогів

Немає супутніх товарів

Рис. 2. Складські запаси по номенклатурній позиції «Журнальний столик» [5]

Після проведення технологічних операцій «Замовлення покупця» та «Виробництво товару», ми отримали наступні показники по складських залишках: по основному складу залишок складає 20 шт., в резерві 2 шт., вільно 18 шт.; по складу готової продукції залишок складає 3 шт., в резерві 2 шт., вільно 1 шт.; основний підрозділ залишок складає 1 шт., в резерві 1 шт. (рис. 3). Поставлене завдання успішно відпрацьовано в інформаційній системі «BAS. Малий бізнес».

Аналіз моделі з виробництва та продажу журнальних столиків в системі «BAS. Малий бізнес» засвідчив отримання чистого прибутку підприємством, що доводить ефективність розробленого нами операційного плану. Аналіз форм «Аналітика» дає змогу провести детальний аналіз економічних показників діяльності підприємства та спрогнозувати на якому етапі виробництва підприємство почне отримувати прибуток.

← → ☆ Номенклатура

> Фільтри

Створити Продати - Купити - Пошук (Ctrl+F) x Ще -

Найменування	Вільно	В резерві	Од.вим	Оптова ціна	Артикул
✖ Виміри та свердління отворів в ДВП			год		
✖ Встановлення фурнітури			год		
🔍 Гачок RW 0703		100,000	шт		
🔍 Гачок WP 1003 потрійний			шт		
🔍 Гвинт M4x22		300,000	шт		
🔍 Демпфер візний "SMOVE" d10x50mm, Hafele	50,000		шт		
🔍 Деревообробний верстат WM1922 Sturm			шт		
🔍 Дзеркальні двері шафи-купе вільха		50,000	шт		
✖ Доставка матеріалів постачальником		2,000	год		
✖ Електроенергія			КВТ·г		
🔍 Єврогвинт шестигранник 7x50			шт		
🔍 Єврошруп з овальною голівкою 6,3x13	2 760,000		шт		
🔍 Журнальний столик	19,000	5,000	шт	1 500,00	
🔍 Журнальний столик (індивідуальне замовлення)		1,000	шт		
🔍 З'єднання кутове стільниці AL H=40мм	130,000		шт		
🔍 З'єднання кутове стільниці AL мет	280,000		шт		

Склад	Залишок	В резерві	Вільно
Основний склад	20,000	2,000	18,000
Склад готової продукції	3,000	2,000	1,000
Основний підрозділ	1,000	1,000	

Ваш кошик: перетягніть товари

Замовлення покупця

Категорії Групи

<Всі групи>

- Готова продукція
- ДВП та ДСП
- Комплектуючі для шаф-купе
- Майно (основні засоби)
- Метизи та гвинти
- Послуги сторонніх організацій
- Роботи

Журнальний столик

Немає аналогів

Немає супутніх товарів

Згорнути

Рис. 3. Номенклатурна позиція по товару після завершення виробництва та резервування товару [5]

Врахування динаміки ринків сприяє успішній реалізації стратегії підприємств спрямованої на максимізацію прибутку за рахунок використання систем економічного моделювання господарської діяльності.

Список використаних джерел

1. Дивак В. В., Пурський О. І., & Юрченко Ю. Ю. Побудова фінансової моделі підприємства в системі Project Expert // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки». – 2023. – № 10. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-10>
2. Merkevičius J., Davidaviciene V., & Buleca J. Virtual organization: Specifics of creation of personnel management system. *Eam: Ekonomie a Management*. 2015. Vol. 18, № 4. P. 200–211. <https://10.15240/tul/001/2015-4-014>.
3. Fakhroni Z., Ghozali I., & Yuyetta E. Free cash flow, investment inefficiency, and earnings management: evidence from manufacturing firms listed on the Indonesia Stock Exchange. *Investment management and financial innovations*. 2018. Vol. 15, № 1. P. 299–310. [https://10.21511/imfi.15\(1\).2018.25](https://10.21511/imfi.15(1).2018.25).
4. Kraus S., Durst S., Ferreira J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. Digital transformation in business and management research: An

overview of the current status quo. *International journal of information management*. 2022. Vol. 63. 102466. <https://10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>.

5. Демонстраційна база «BAS. Малий бізнес» (2026) https://demo.bas-soft.eu/BASSmallBusiness/uk_UA/

Антон КОРНЕТА

аспірант

(orcid.org/0009-0007-7665-2784)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ОПИС ИНТЕГРОВАННОГО ПОДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗАДАЧ ТА КОМАНДНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В AGILE-ПРОЄКТАХ

Сучасні методології гнучкої розробки програмного забезпечення (Agile) широко використовуються у сфері ІТ завдяки здатності забезпечувати швидку адаптацію до змін, ітеративний підхід до розробки та постійну взаємодію між членами команди. Одним із ключових процесів Agile є планування спринтів, яке безпосередньо впливає на успішність реалізації програмного проєкту. Проте на практиці ефективність спринт-планування часто знижується через неточне оцінювання тривалості задач, нерівномірний розподіл навантаження та недостатнє врахування реальної доступності членів команди [1].

Традиційні підходи до оцінювання задач у Agile-командах зазвичай базуються на експертних оцінках або історичних даних попередніх проєктів. Однак такі методи не завжди враховують невизначеність виконання задач та вплив людського фактора. У результаті навіть добре спланований спринт може містити приховані ризики перевантаження окремих учасників команди, що призводить до затримок виконання задач, зниження продуктивності та порушення термінів реалізації проєкту.

Одним із поширених методів оцінювання тривалості задач є метод PERT (Program Evaluation and Review Technique), який використовує оптимістичну, песимістичну та найбільш ймовірну оцінки часу виконання задачі. Такий підхід дозволяє враховувати невизначеність під час планування та формувати статистично обґрунтовані оцінки

тривалості робіт. Проте класичний PERT не враховує реальний розподіл навантаження між членами команди та їх рольову участь у виконанні задач [2, 3].

Для визначення відповідальності учасників проекту в управлінні часто використовується модель RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed), яка дозволяє формалізувати ролі членів команди під час виконання окремих задач. Незважаючи на широке використання RACI у проєктному менеджменті, ця модель переважно застосовується лише для розподілу відповідальностей і практично не інтегрується в процес оцінювання трудомісткості та тривалості задач. У реальних Agile-проєктах це створює ситуацію, коли окремі учасники одночасно залучені до великої кількості задач у різних ролях, що призводить до прихованого перевантаження та ризиків зриву спринту [4].

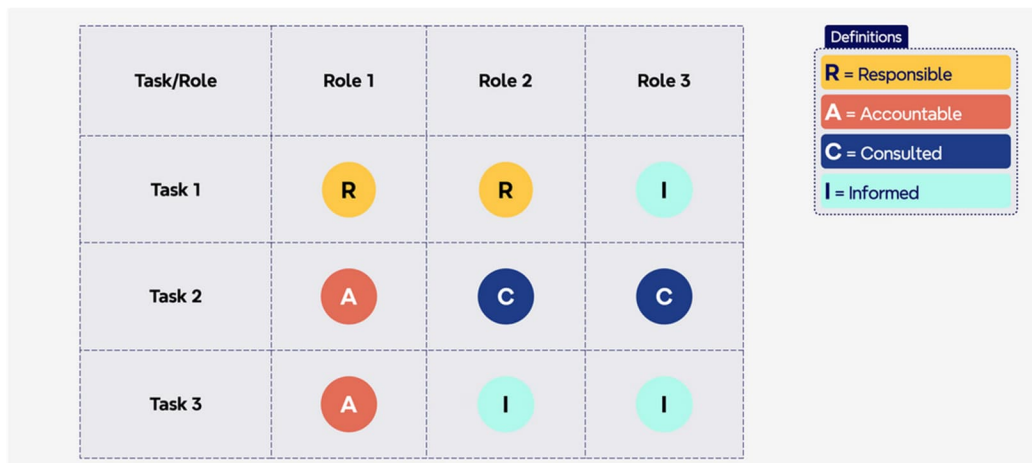


Рис. 1. Узагальнена схема RACI матриці [5]

Таким чином, виникає необхідність розроблення підходу, який поєднуватиме механізми оцінювання невизначеності задач із аналізом фактичного навантаження команди. Актуальним завданням є створення алгоритму, здатного динамічно коригувати оцінки тривалості задач залежно від рівня завантаженості учасників проєкту та їх ролей у матриці відповідальностей.

Основною метою дослідження є розробка алгоритмічного підходу до планування спринтів, який інтегрує метод PERT та кількісно оцінену модель RACI для формування більш реалістичних оцінок задач у середовищі Agile-розробки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи оцінювання задач у Agile-проєктах;

- дослідити можливості використання PERT для оцінювання невизначеності тривалості задач;
- дослідити застосування моделі RACI для оцінювання навантаження членів команди;
- розробити механізм інтеграції PERT та RACI;
- сформувати алгоритм коригування тривалості задач з урахуванням перевантаження команди;
- оцінити потенційний вплив запропонованого підходу на ефективність планування спринтів.

Запропонований підхід спрямований на підвищення точності планування Agile-проектів, покращення розподілу ресурсів та зменшення ризиків перевантаження учасників команди. Очікується, що інтеграція моделей PERT та RACI дозволить створити більш адаптивний механізм підтримки прийняття рішень у сфері управління програмними проектами.

Список використаних джерел

1. Jørgensen, M., & Shepperd, M. (2007). A systematic review of software development effort estimation studies. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 33(1), 33–53. <https://doi.org/10.1109/TSE.2007.256943>
2. Hossain, M. I. (2023). Software development life cycle (SDLC) methodologies for information systems project management. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 5(5). <https://doi.org/10.36948/IJFMR.2023.V05I05.6223>
3. Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
4. Burghate, S. (2013). Role of RACI matrix in project management. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2(1), 18–22.
5. Xmind Blog. (2024). *What is a RACI chart: Definition and examples*. Retrieved from <https://xmind.com/blog/what-is-a-raci-chart>

Valentyna PLESKACH

Doctor of Sciences, Professor

(orcid.org/0000-0003-0552-0972)

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Kyiv, Ukraine

Maksym POSLOVSKYI

Master's student

(orcid.org/0009-0002-5042-4525)

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Kyiv, Ukraine

METHODS AND TOOLS FOR BUILDING A WEBSITE FOR SEARCHING AND PROVIDING VOLUNTEER ASSISTANCE

With the outbreak of full-scale war in Ukraine in February 2022, volunteer work has become one of the key factors in ensuring societal resilience, supporting the population, and strengthening the state's social protection system. Volunteering, as an important tool for civic engagement and social interaction, has facilitated the mobilization of human resources to address social, humanitarian, and crisis-related challenges, evolving from a spontaneous initiative into a strategic resource for national resilience and social security. The trend in the registration of official volunteers in Ukraine is illustrated in Fig. 1.

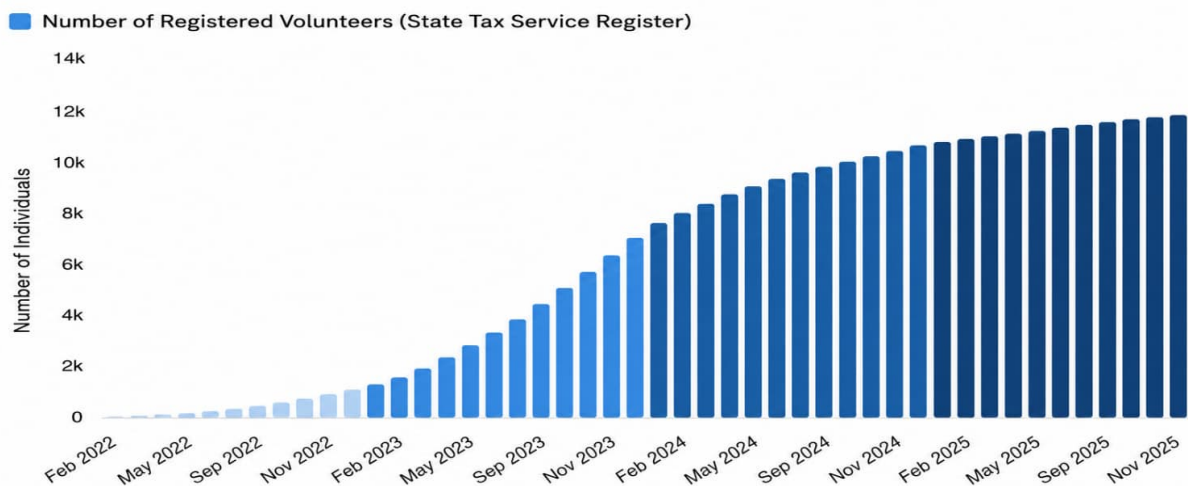


Fig. 1. Trends in volunteer registration in Ukraine from 2022 to 2025 [1]

At the same time, effective coordination among volunteers, aid recipients, and organizations remains an unresolved systemic problem:

existing digital tools are either overly centralized with long response times or rely on unsecured third-party communication channels for critical operations.

Patrick Meier, one of the most prominent researchers in the field of digital humanitarianism, has studied crowdsourcing platforms, crisis mapping, digital volunteer networks, and the use of web platforms during emergencies (Digital Humanitarian Network, Ushahidi) [2].

Kate Starbird, one of the founders of the field of crisis informatics, has studied the self-organization of digital volunteers, social networks, and online coordination of aid during crises («Self-Organizing by Digital Volunteers in Times of Crisis»). Leysia Palen, a researcher of digital interactions and crisis information systems, has conducted in-depth research on digital volunteering, crowdsourcing, and crisis web platforms [3].

David P. Anderson, the creator of the BOINC platform—which became the foundation of volunteer computing—has studied the architecture of distributed volunteer platforms and mechanisms for engaging digital volunteers.

However, a synthesis of the results of a comparative analysis of various digital volunteering platforms reveals systemic issues common to most of these platforms.

First, the architectural dichotomy of «centralization versus decentralization.» Government platforms are characterized by a bureaucratic, multi-layered process for handling requests, which increases reliability but critically reduces response speed. Civil society platforms are overly decentralized and route critical operations through unsecured third-party communication channels. A hybrid approach is optimal.

Second, the lack of geolocation matching. None of the analyzed platforms implements an algorithm for matching volunteers based on spatial proximity, leading to inefficient resource allocation and increased logistical costs—particularly critical in crisis scenarios.

Third, the problem of outdated data and the lack of real-time coordination. Most platforms function as static databases without mechanisms for automatically updating statuses, which generates a significant amount of unproductive communication and reduces trust in the timeliness of the data.

Fourth, a lack of reputation mechanisms. Only platforms integrated with government registries or backed by media coverage generate a sufficient level of public trust. The rest do not implement automated mechanisms for building participants' digital reputations based on verified facts regarding completed tasks.

The goal of this research is to create an information web system for coordinating volunteer assistance. Its technical foundation consists of an algorithm for the automated geolocation-based selection of recipients and the management of the request lifecycle within a single, type-safe environment.

The design task includes: defining the architectural approach and decomposition into modules; selecting and justifying the technology stack; building a data model; and describing the system's business processes.

The system is designed for three categories of users – volunteers, organizations, and administrators – implements the following key business functions: publishing geolocated requests for assistance; searching for requests within a specified radius of the volunteer's current location; accepting, tracking, and confirming the fulfillment of a request; role-based access control; maintaining an audit log of operations.

The system adopts a Modular Monolith architecture built on NestJS with a Code-First GraphQL API, eliminating the over-fetching and under-fetching inherent to REST endpoints. The Angular frontend leverages reactive Signals primitives for real-time map state synchronization via Leaflet, while PostgreSQL with the PostGIS extension handles geofenced spatial queries and radial volunteer-request matching. A multi-criteria Dynamic Priority Score (PS) formally integrates category urgency and a spatially derived zone risk coefficient.

Preliminary load testing of the core API demonstrated a sustained throughput of 505.5 requests per second with a 0% error rate, confirming architectural stability under concurrent GIS workloads. Multi-layered architecture of this system is demonstrated on Fig. 2.

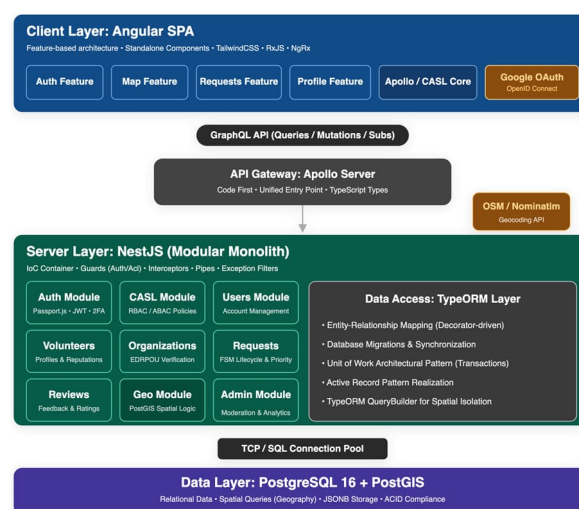


Fig. 2. Architecture of the web-oriented volunteer assistance information Web-based system

Table 1 shows the technology stack for implementing a web-based system for finding and providing volunteer assistance.

Table 1

Stack for implementing a Web-based system for finding and providing volunteer assistance

Level	Technology	Key Role
Frontend	Angular 21 + RxJS + NgRx	SPA, reactive state, interactive map
Mapping	Leaflet + Nominatim / OSM	Marker clustering, reverse geocoding
API Layer	GraphQL (Code-First) + Apollo	Typed single endpoint
Backend	NestJS 11 + TypeORM	Modular business logic, guards, interceptors
Database	PostgreSQL 16 + PostGIS 3.4	ACID, spatial queries, GiST index
Authentication	JWT RS256 + OAuth 2.0 + TOTP	Multi-factor authentication, short-lived tokens
Deployment	Docker (Kubernetes planned)	Environment isolation, horizontal scaling

The study developed and implemented a web-based system for coordinating volunteer assistance, designed to automate the search for volunteers, prioritize requests, and geolocate volunteers within a unified information space. In the context of a full-scale armed conflict, the developed software system solves the practical problem of operational coordination between volunteers, aid recipients, and organizations without using unsecured third-party communication channels.

References

1. Опендотабот, URL: <https://opendatabot.ua/analytics/donats-2025>.
2. Meier, P. (2012) Crisis Mapping in Action: How Open Source Software and Global Volunteer Networks Are Changing the World, One Map at a Time. *Advances in Geospatial Information, Collections & Archives*. Volume 8, 2012. Issue 2: Crisis Mapping. P. 89–100. <https://doi.org/10.1080/15420353.2012.663739>.
3. Starbird, K., Palen, L. (2011) «Voluntweeters»: Self-organizing by digital volunteers in times of crisis. Conference: Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2011, Vancouver, BC, Canada, May 7–12, 2011. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979102>
4. Anderson, D.P. (2019) BOINC: A Platform for Volunteer Computing. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.01699>

Тетяна ЖИРОВА

кандидат педагогічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0001-8321-6939)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ІНТЕГРАЦІЯ SPEC-DRIVEN DEVELOPMENT В AGILE-ОРІЄНТОВАНУ ПІДГОТОВКУ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ

Сучасна підготовка майбутніх ІТ-фахівців має враховувати не лише опанування мов програмування, інструментів розроблення й тестування, а й здатність працювати з вимогами, уточнювати очікувану поведінку системи, забезпечувати зв'язок між специфікацією, програмною реалізацією та тестовими артефактами. Це особливо важливо в умовах командної розробки, де якість програмного продукту залежить від узгодженості дій усіх учасників проєкту.

Agile-орієнтоване навчання дає змогу наблизити освітній процес до реальних умов професійної діяльності, оскільки передбачає ітераційність, командну взаємодію, регулярний зворотний зв'язок і поступове створення програмного продукту. Водночас у навчальній практиці Agile нерідко зводиться до формального використання дошок завдань, розподілу ролей або виконання окремих спринтів без належної уваги до якості вимог, критеріїв приймання, трасованості та обґрунтованості технічних рішень [1].

У цьому контексті актуальним є звернення до Spec-Driven Development (SDD), у якому специфікація розглядається як ключовий артефакт розроблення програмного забезпечення. У межах Agile-орієнтованого навчання йдеться не про заміну гнучкого підходу формалізованим документуванням, а про використання специфікації як змістової опори навчального ІТ-проєкту. Вона має уточнюватися в процесі командної взаємодії, отримання зворотного зв'язку, тестування та перегляду вимог. Саме таке поєднання дозволяє зберегти гнучкість Agile і водночас посилити аналітичну, документувальну та якісно-орієнтовану складові підготовки майбутніх ІТ-фахівців.

Отже, проблема полягає в обґрунтуванні доцільності інтеграції елементів SDD у навчальні Agile-проєкти майбутніх ІТ-фахівців як засобу впорядкування роботи з вимогами, специфікацією, тестуванням і оцінюванням якості командного результату.

У сучасних дослідженнях і професійних публікаціях останніх років посилюється увага до підходів, у яких специфікація розглядається як основа розроблення, тестування та перевірки програмного продукту. Особливо актуальним це стало в умовах поширення AI-assisted development, де перед генерацією або модифікацією коду потрібно чітко визначити вимоги, очікувану поведінку системи, критерії приймання та обмеження. У матеріалах GitHub щодо Spec Kit SDD подається як структурований процес, у якому специфікація стає центром інженерного процесу та джерелом узгодження для роботи з AI-інструментами [2]. Подібний акцент на використанні специфікації як опори для AI-assisted workflows простежується і в публікаціях М. Фаулера [3], де SDD розглядається у зв'язку з уточненням вимог, обмежень і очікуваної поведінки системи перед реалізацією.

Близькими до ідей SDD є сучасні дослідження Behavior-Driven Development та приймального тестування. У систематичному картографічному дослідженні Л. Бінамунгу та С. Маро BDD визначено як Agile-практику, у якій вимоги описуються напівструктурованою природною мовою у вигляді сценаріїв очікуваної поведінки системи; такі сценарії можуть виконувати роль і специфікацій, і тестових артефактів [4]. Дослідження С. Карпурапу та співавторів засвідчує можливості великих мовних моделей для автоматизованого формування BDD-приймальних тестів, водночас підкреслюючи потребу контролю якості таких результатів [5]. У праці М. Феррейри та співавторів запропоновано двоетапний підхід до генерації приймальних тестів: від сценаріїв природною мовою до виконуваних тестових скриптів [6]. Ці дослідження підтверджують актуальність зв'язку між вимогами, специфікацією, приймальними тестами та перевіркою якості програмного продукту.

Разом з тим більшість сучасних джерел розглядає SDD BDD і приймальні тести переважно в контексті професійного розроблення програмного забезпечення та AI-assisted coding. Недостатньо розкритим залишається питання їх педагогічної адаптації, зокрема інтеграції елементів SDD у навчальні Agile-проекти майбутніх IT-фахівців. Саме це зумовлює потребу розглядати специфікацію як навчально-проектний артефакт, що забезпечує зв'язок між вимогами, backlog, реалізацією, тестуванням, демонстрацією інкременту та оцінюванням якості командного результату.

Agile-орієнтована підготовка майбутніх IT-фахівців передбачає організацію освітнього процесу на засадах гнучкості, ітераційності, командної взаємодії, практико-орієнтованості та регулярного зворотного зв'язку. Однак ефективність такої підготовки залежить не лише

від зовнішньої організації роботи за Agile-підходами, а й від того, наскільки студенти вміють пов'язувати вимоги, рішення, код, тести й оцінювання якості. Саме тому елементи SDD доцільно інтегрувати в навчальні Agile-проекти як спосіб організації роботи студентських команд зі специфікацією.

Інтеграція SDD може здійснюватися через послідовне пов'язування таких артефактів: вимоги до програмного продукту, user stories, критерії приймання, backlog, завдання спринту, тестові сценарії, тест-кейси, баг-репорти та результати демонстрації інкременту. У такій логіці специфікація стає основою не лише для планування роботи команди, а й для перевірки якості виконаного результату. Студенти мають не просто реалізувати певну функціональність, а показати, якій вимозі вона відповідає, якими тестами перевірена та які висновки можна зробити щодо її якості.

Практично це може бути реалізовано на етапі планування спринту, коли команда бере в роботу не довільний набір завдань, а ті елементи backlog, які мають описані вимоги та критерії приймання. На етапі розроблення специфікація допомагає узгодити очікувану поведінку системи між учасниками команди. На етапі тестування вона стає основою для створення чек-листів, тест-кейсів, сценаріїв приймального тестування та матриці трасування. Під час sprint review студенти демонструють не лише готовий фрагмент продукту, а й відповідність інкременту попередньо визначеним вимогам. На ретроспективі аналізується не тільки командна взаємодія, а й якість специфікації: її повнота, зрозумілість, несуперечливість і придатність для тестування.

Особливе значення такий підхід має в умовах використання інструментів штучного інтелекту (ШІ). ШІ може допомагати студентам формулювати вимоги, генерувати user stories, уточнювати критерії приймання, пропонувати тестові сценарії або виявляти суперечності у специфікації. Проте результат такої генерації не може автоматично вважатися якісним. Тому в навчальному процесі важливо формувати здатність критично перевіряти AI-згенеровані артефакти, співвідносити їх із вимогами, логікою продукту та реальними критеріями якості. У цьому разі специфікація виконує роль контрольної основи, яка дає змогу студентам аргументувати власні рішення, а не лише приймати готові відповіді, запропоновані цифровим інструментом.

Отже, інтеграція елементів SDD в Agile-орієнтовану підготовку майбутніх IT-фахівців посилює професійну спрямованість навчальних проєктів, забезпечуючи зв'язок між вимогами, специфікацією, реалі-

зацією, тестуванням і оцінюванням якості. Такий підхід сприяє формуванню здатності студентів працювати зі змінюваними вимогами, підтримувати трасованість артефактів, обґрунтовувати технічні рішення та відповідально використовувати інструменти ШІ в професійно-орієнтованій діяльності.

Інтеграція елементів SDD у навчальні Agile-проекти є доцільною, оскільки поєднує гнучку, ітераційну й командну організацію освітнього процесу з професійною логікою розроблення програмного продукту. Agile визначає ритм і спосіб командної взаємодії, тоді як SDD забезпечує її змістову основу через роботу зі специфікацією, вимогами, критеріями приймання та тестовими артефактами. Специфікація в такому підході розглядається не як статичне технічне завдання, а як оновлюваний артефакт навчального проєкту, що уточнюється під час спринтів, тестування, демонстрації інкрементів і рефлексії. Це сприяє формуванню здатності студентів встановлювати зв'язки між вимогами, backlog, реалізацією, тестуванням і результатами перевірки якості програмного продукту. Використання SDD також посилює критичне ставлення до інструментів ШІ: AI-засоби можуть підтримувати створення вимог, user stories, критеріїв приймання та тестових сценаріїв, однак перевірка їхньої коректності має залишатися за студентом і командою. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням методики використання специфікації в навчальних Agile-проектах та критеріїв оцінювання якості специфікацій і тестових артефактів.

Список використаних джерел

1. Шапран Ю. П., & Жирова Т. О. (2026). Педагогічна інтерпретація принципів Agile-методології у підготовці майбутніх іт-фахівців. *Педагогічний альманах*, (61), 85–93. <https://doi.org/10.37915/pa.vi61.702>
2. GitHub. (2025, September 2). Spec-driven development with AI: Get started with a new open source toolkit. GitHub Blog. <https://github.blog/ai-and-ml/generative-ai/spec-driven-development-with-ai-get-started-with-a-new-open-source-toolkit/>
3. Fowler, M. (2025, October 15). Understanding Spec-Driven-Development: Kiro, spec-kit, and Tessel framework. MartinFowler.com. <https://martinfowler.com/articles/exploring-gen-ai/sdd-3-tools.html>
4. Binamungu, L. P., & Maro, S. (2023). Behaviour driven development: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 203, Article 111749. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111749>

5. Karpurapu, S., Myneni, S., Nettur, U., Gajja, L. S., Burke, D., Stiehm, T., & Payne, J. (2024). Comprehensive evaluation and insights into the use of large language models in the automation of behavior-driven development acceptance test formulation. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.14965>
6. Ferreira, M., Viegas, L., Faria, J. P., & Lima, B. (2025). Acceptance test generation with large language models: An industrial case study. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.07244>

Олег КУЗІН

аспірант

(orcid.org/0009-0009-3592-0345)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ЯКІСНИХ ВИМОГ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА БАНКУ

Сучасний банк фактично перетворився на технологічну компанію з банківською ліцензією: інформаційне середовище об'єднує АБС, фронт-офісні застосунки, бізнес-процеси клієнтського обслуговування і десятки інтеграцій із НБУ, SWIFT та державними реєстрами. Збій навіть однієї ланки безпосередньо позначається на здатності установи обслуговувати клієнтів. За даними дослідження ITIC «2024 Hourly Cost of Downtime Survey», понад 90% середніх та великих підприємств оцінюють годину простою інформаційних систем понад 300 тис. дол. США, а в фінансовому секторі середньорічні втрати від простоїв сягають 152 млн дол. США [1]. У контексті українських банків додаткові виклики формують війсьні ризики, кібератаки на інфраструктуру та тривалі перебої електропостачання. У такій ситуації грамотна формалізація функціональних і якісних вимог перестає бути теоретичною вправою – вона стає робочим інструментом моделювання інформаційного середовища.

Питання відмовостійкості територіально-розподілених інформаційних систем досліджував О. Г. Додонов [2]; до моделювання відмовостійкості багаторівневих структур звертались В. А. Краснобаєв і співавтори [3]. Регуляторне поле формують постанови Правління

НБУ № 95/2017, № 64/2018, № 178/2022 [4], [5] та зміни постанови № 24 від 25.02.2025, що гармонізують українські вимоги з регламентом DORA (EU 2022/2554) [6].

Формування вимог будується по двох напрямках. На першому – функціональні вимоги, наведені ключовими бізнес-процесами: відкриттям рахунків, обробкою транзакцій, інтернет-банкінгом, звітністю і аналітикою. На другому – якісні вимоги за чотирма категоріями: продуктивністю, безпекою, масштабованістю та підтримкою і обслуговуванням. Оскільки бізнес-процеси різняться за критичністю, до них застосовується Tier-класифікація з виведенням цільових показників доступності, RTO (Recovery Time Objective) та RPO (Recovery Point Objective) за методами Business Impact Analysis (BIA). Зведена класифікація наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація бізнес-процесів банку за рівнями критичності

Tier	Бізнес-процеси та системи банку	RTO	RPO	Доступність / простій
Tier 1	Обробка транзакцій (СЕП, миттєві платежі, картковий процесинг), інтернет-банкінг, АБС	0–15 хв	≈ 0 (синхр.)	99,99% / ≤ 52,6 хв на рік
Tier 2	Відкриття рахунків (очне і віддалене), кредитний конвеєр, антифрод, CRM	1–4 год	15–60 хв	99,95% / ≤ 4,38 год
Tier 3	Звітність та аналітика, документообіг, HR-системи	8–24 год	4–24 год	99,9% / ≤ 8,76 год

Функціональні вимоги до інформаційного середовища банку

Відкриття рахунків. В очному каналі співробітник банку має одночасно виконати верифікацію документів, звірити дані з Єдиним демографічним реєстром і ДРФО, провести процедури ідентифікації/верифікації, сформувати пакет документів за шаблонами та внести дані клієнта в АБС – бажано без переключень між системами. У дистанційному каналі завдання інше: довести, що людина по той бік екрана – це справді вона. Таку ідентифікацію забезпечує верифікація через BankID НБУ та портал «Дія», біометрична ідентифікація з надійною автентифікацією згідно з постановою НБУ № 65/2020.

Обробка транзакцій. Основу становить інтеграція з СЕП4 НБУ (ISO20022, цілодобовий режим із 01.04.2023): банк передає платіжні пакети з гарантованою доставкою, отримує статуси-відповіді та обробляє квитанції. Інтеграція зі SWIFT Alliance оброблює МТ/МХ-повідомлення, валідує BIC-коди та виконує санкційний скринінг. На випадок відмови основного маршруту банк забезпечує резервування захищених каналів до НБУ і SWIFT.

Робота інтернет-банкінгу. Основними вимогами є багато-канальний доступ (веб, iOS, Android) із синхронізацією через REST API, багатофакторна автентифікація, управління сесіями, інтеграція з BankID, функції переказів, оплат послуг та податків, оформлення депозитів і кредитів, замовлення виписок. Захист повинен забезпечуватись шифруванням, а пікові навантаження реалізовуватись сервісами з горизонтальним автомасштабуванням.

Звітність та аналітика. Банк регулярно подає регуляторну звітність до НБУ і Держстату з жорстко фіксованими термінами, а паралельно формує внутрішню управлінську звітність для топ-менеджменту. Окремий напрям – моніторинг транзакцій для AML у реальному часі. Аналітичний шар будується на платформах бізнес-аналітики, а ML-моделі обслуговують скоринг позичальників, виявлення шахрайства та прогнозування.

Якісні вимоги до інформаційного середовища банку

Продуктивність. Цільові показники: для процесингу карткових транзакцій латентність авторизації не більше 500 мс. Для запитів інтернет-банкінгу – медіана не більше 200 мс. Миттєві платежі СЕП4 – латентність не більше 3 с у 90-му перцентилі (декларація НБУ за 2025 рік). Факт виконання цих вимог має забезпечуватись моніторингом через АРМ-системи з визначеними ключовими індикаторами SLI/SLO.

Безпека. На рівні даних вимагається шифрування – і при зберіганні, і під час передачі мережею. Доступ адміністраторів повинен посилюватись мультифакторною автентифікацією, а захист периметру забезпечуватись системами IDS/IPS, anti-DDoS і мережевою сегментацією. Необхідний моніторинг подій операційним центром безпеки на базі SIEM-платформ. Це забезпечить відповідність вимогам постанов Правління НБУ № 95/2017 [4] та № 178/2022 [5], а також стандартам ISO/IEC 27001:2022, PCI DSS, SWIFT CSCF [6].

Масштабованість. Горизонтальне масштабування – здатність розширити продуктивність системи на 200% упродовж години. Шардинг баз даних за необхідності, а також репліки в режимі тільки-читання для розподілу навантаження в операціях читання даних.

Значний внесок додає багаторівневе кешування та асинхронна обробка через черги повідомлень.

Підтримка та обслуговування. Спостережуваність за моделлю «три стовпи»: журнали, метрики, розподілене трасування. Безперервні оновлення, регулярне тестування switchover/failover (для Tier 1 – щоквартально) та методика тестування систем «Chaos engineering».

Узагальнено всі ці вимоги задовольняє архітектура з три-сайтовим розгортанням, схематично показана на рис. 1: первинний ЦОД, вторинний ЦОД в іншому регіоні із синхронною реплікацією, а також резервний майданчик в публічній хмарі регіону ЄС, куди дані реплікуються асинхронно.

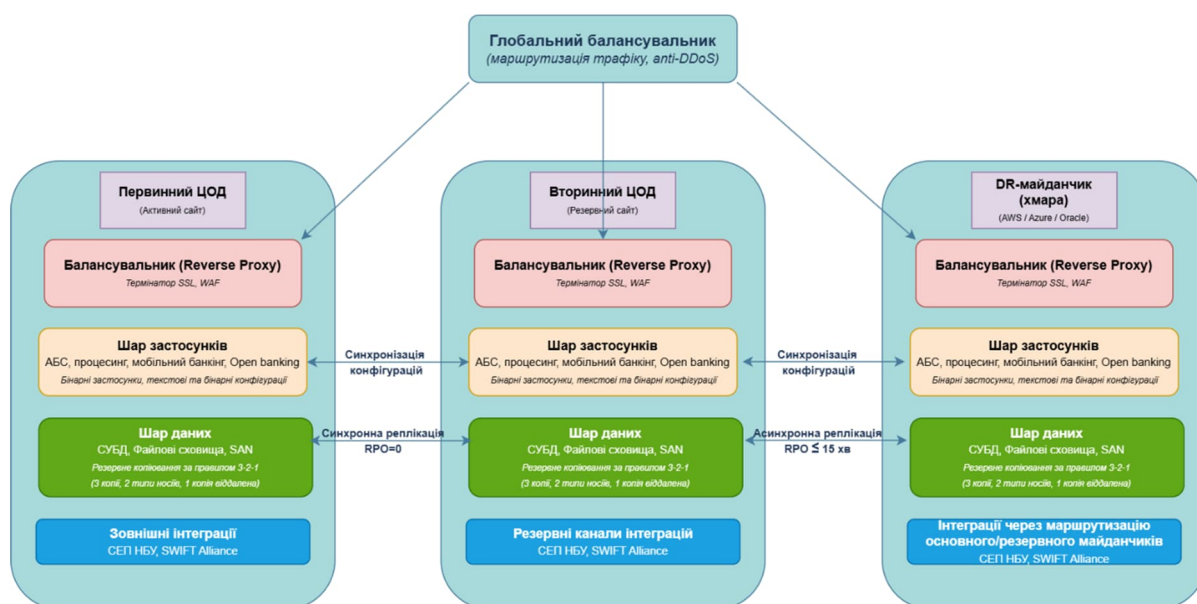


Рис. 1. Зразок архітектури відмовостійкого інформаційного середовища банку

Поділ вимог на два блоки – функціональні (за бізнес-процесами) і якісні (за ключовими категоріями) – дозволяє формувати технічне завдання на відмовостійке інформаційне середовище з продуманими ключовими критеріями продуктивності та функціональності. Архітектурно це означає Тієр-класифікацію з різними RTO/RPO для різних блоків, синхронну реплікацію даних, а також географічно розподілене розгортання, де резервний майданчик винесений за межі України. Практичність такого підходу вже довів ПриватБанк, перемістивши свої ключові потужності в публічну хмару ЄС у перші тижні повномасштабного вторгнення [7].

Список використаних джерел

1. Splunk, & Oxford Economics. (2024). The hidden costs of downtime in financial services. Splunk Inc. https://www.splunk.com/en_us/form/financial-services-hidden-costs-of-downtime-report-and-action-guide.html
2. Додонов, О. Г. (2024). Живучість територіально-розподілених інформаційних комп'ютерних систем. Реєстрація, зберігання і обробка даних, 26(1), 121–143.
3. Краснобаєв, В. А., Кошман, С. О., & Лопата, Л. А. (2024). Модель забезпечення відмовостійкості інформаційних систем на основі багаторівневих структур. Вісник Херсонського національного технічного університету.
4. Про затвердження Положення про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в банківській системі України. / Постанова Правління Національного банку України 28.09.2017 № 95
5. Про затвердження Положення про організацію кіберзахисту в банківській системі України та внесення змін до Положення про визначення об'єктів критичної інфраструктури в банківській системі України / Постанова Правління Національного банку України 12.08.2022 № 178.
6. European Parliament and Council. (2022). Regulation (EU) 2022/2554 on digital operational resilience for the financial sector (DORA). Official Journal of the European Union.
7. ПриватБанк. (2022, 29 квітня). Фінансова безпека понад усе. ПриватБанк завершив міграцію у «хмару». <https://privatbank.ua/index.php/news/2022/4/29/finansova-bezpeka-ponad-use-privatbank-zavershiv-migraciyu-u-hmaru>

Владислав ПАЛІЙ

аспірант

(orcid.org/0009-0002-3853-4270)

Державний торговельно-економічний університет

м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ТА АНАЛІЗУ ВИМОГ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ AGILE-ТЕХНІК (USER STORIES, USE CASES)

У сучасному світі інформаційні системи (ІС) є фундаментальним елементом функціонування будь-якої організації, забезпечуючи автоматизацію процесів, підвищення ефективності та конкурентоспроможності. Проте, зі зростанням складності цих систем, розширенням їх функціоналу та інтеграцією з різноманітними платформами, виникають значні виклики у процесі їх розробки [3]. Динамічність сучасного бізнес-середовища, швидка зміна ринкових умов та потреб користувачів вимагають від розробників здатності до постійної адаптації та оперативної реакції на нові вимоги [2]. В цьому контексті, ефективний збір та аналіз вимог виступає як критично важливий етап життєвого циклу розробки програмного забезпечення (ПЗ). Недостатньо якісна або неповна робота з вимогами є однією з основних причин провалу ІТ-проектів, призводить до значного перевищення бюджету та термінів, а також до незадоволеності кінцевих користувачів [11, 13]. Традиційні, «водоспадні» методології, які передбачають ретельне та повне документування всіх вимог на початкових етапах, часто виявляються неефективними в умовах постійних змін, оскільки вони не здатні забезпечити необхідну гнучкість [8]. Саме тому, останні десятиліття характеризуються активним переходом до Agile-підходів у розробці програмного забезпечення [8, 11]. Ці методології, засновані на принципах ітеративної розробки, гнучкості, співпраці із замовником та швидкого зворотного зв'язку, дозволяють значно підвищити адаптивність проекту до мінливих умов [10, 13]. Особливе місце серед Agile-технік для збору та аналізу вимог посідають User Stories (Користувацькі історії) та Use Cases (Варіанти використання) [12]. User Stories дозволяють описувати функціональні можливості системи з позиції користувача, акцентуючи увагу на цінності та бізнес-користі, тоді як Use Cases надають більш структурований підхід до моделювання взаємодії системи з акторами [14].

Комбіноване та раціональне застосування цих технік в Agile-середовищі дозволяє не тільки ефективно зафіксувати потреби замовника, а й забезпечити глибоке розуміння вимог усіма членами команди розробки, що є запорукою створення успішної та конкурентоспроможної інформаційної системи [15].

Ефективність розробки інформаційної системи (ІС) значною мірою залежить від якості та повноти визначення її вимог. Якість будь-якої інформаційної системи починається з коректного розуміння того, що вона повинна робити. У контексті розробки програмного забезпечення, вимоги – це опис послуг, які система повинна надавати, а також обмежень, за яких вона має функціонувати [7]. Вони є містком між потребами замовника та технічною реалізацією, слугуючи основою для проектування, розробки та тестування системи. Якість будь-якої інформаційної системи починається з коректного розуміння того, що вона повинна робити. У контексті розробки програмного забезпечення, вимоги – це опис послуг, які система повинна надавати, а також обмежень, за яких вона має функціонувати. Вони є містком між потребами замовника та технічною реалізацією, слугуючи основою для проектування, розробки та тестування системи. Життєвий цикл вимог охоплює всі етапи роботи з ними, починаючи від їх виявлення та аналізу, документування, верифікації (перевірки на коректність та повноту), валідації (перевірки на відповідність потребам замовника), управління змінами та завершуючи їх реалізацією та підтримкою [7, 11]. Це ітеративний процес, який може повторюватися та вдосконалюватися протягом усього проекту. Важливість якісних вимог для успіху проекту неможливо переоцінити, оскільки нечіткі або суперечливі вимоги залишаються головним чинником ризику [13].

Маніфест Agile та його вплив на роботу з вимогами сформулювали чотири ключові цінності, які змістили акцент з формальної документації на постійну комунікацію та гнучкість [2, 8]. Замість одноразового повного циклу розробки, Agile-методології пропонують ітерації (спринти), кожна з яких включає всі фази для невеликого, функціонального «інкременту» продукту. Це дозволяє доставляти працюючу частину системи кожні кілька тижнів, постійно перевіряючи її цінність (рис. 1) [1].

В Agile замовник або його представник (Product Owner) є невід'ємним членом команди, який постійно взаємодіє з розробниками [10]. Це забезпечує швидкий зворотний зв'язок та дозволяє оперативно уточнювати вимоги. Agile-підходи вітають зміни вимог навіть на пізніх етапах розробки [1, 16].

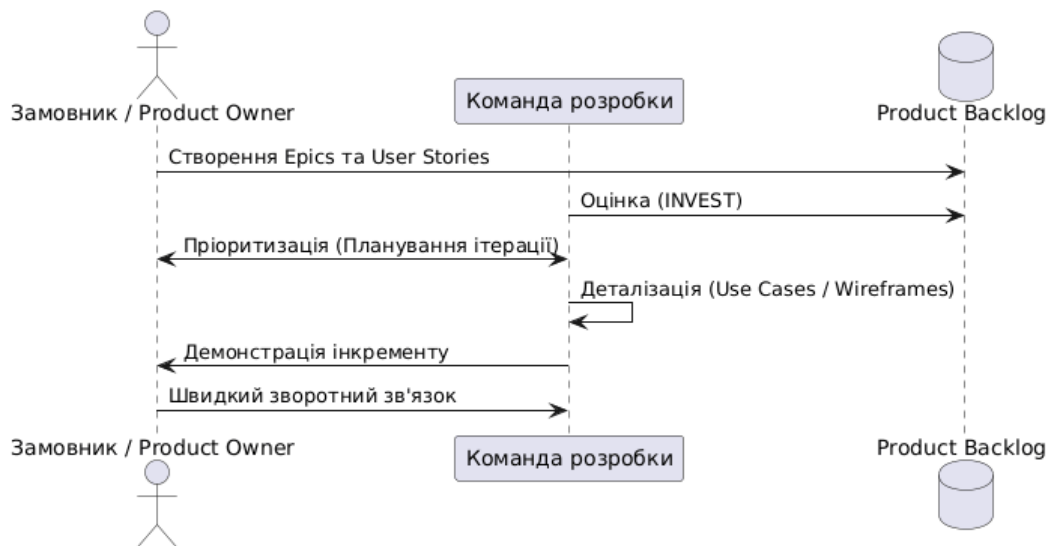


Рис. 1. Діаграма послідовності взаємодії в процесі Agile-аналізу

User Story, або Користувацька історія, є одним з найпоширеніших і найефективніших інструментів для опису вимог в Agile-розробці. Вона представляє собою короткий, простий опис функціоналу системи з точки зору кінцевого користувача, акцентуючи увагу на його потребі та очікуваній цінності. Типова структура User Story виглядає як «As a [роль], I want [можливість], so that [вигода]». Такий формат сприяє розумінню бізнес-цінності кожної вимоги та зосереджує команду на вирішенні реальних проблем користувачів.

User Story є одним з найпоширеніших інструментів для опису вимог в Agile-розробці [9, 12]. Типова структура «As a [роль], I want [можливість], so that [вигода]» сприяє розумінню бізнес-цінності кожної вимоги. Для написання якісних User Stories застосовуються принципи INVEST (Independent, Negotiable, Valuable, Estimable, Small, Testable) [4, 9]. Переваги User Stories полягають у їхній простоті та орієнтації на цінність, хоча вони можуть вимагати додаткової деталізації для складних технічних аспектів [12].

Use Case є більш структурованим підходом до опису функціональних вимог системи, визначаючи послідовність дій для досягнення конкретної мети [14]. Діаграми Use Case, що є частиною мови UML, наочно ілюструють взаємодію акторів із системою. У Agile-розробці Use Cases можуть ефективно використовуватися для деталізації складних функціональностей, доповнюючи User Stories [14, 15]. Порівнюючи ці техніки, можна відзначити, що User Stories краще підходять для раннього етапу виявлення вимог («що» і «чому»), тоді як Use Cases більш придатні для деталізації поведінки системи («як») (табл. 1) [12, 15].

Порівняльна характеристика User Stories та Use Cases

Характеристика	User Stories (Користувацькі історії)	Use Cases (Варіанти використання)
Основний фокус	Цінність для користувача та бізнес-користь	Структурована взаємодія акторів із системою
Питання, на яке відповідає	«Що?» та «Чому?»	«Як?» (поведінка системи)
Рівень деталізації	Низький (від Epics до дрібних історій)	Високий (послідовність дій, сценарії)
Етап застосування	Ранні етапи виявлення вимог	Деталізація складних функціональностей
Формат	«As a [role], I want [ability], so that [benefit]»	Діаграми UML, текстові описи кроків

Окрім User Stories та Use Cases, важливою є техніка «Прикладів» (Examples), що часто використовується в Behaviour-Driven Development (BDD) [17]. Також корисними є моделі рішень (Decision Models) та візуальні моделі, такі як Wireframes та Mockups, які дозволяють швидко збирати зворотний зв'язок від користувачів [16, 17].

Ефективна реалізація моделі вимагає відповідної інструментальної підтримки. Для управління Agile-проектами залучаються такі інструменти, як Jira, Trello або Azure DevOps [16].

Список використаних джерел

1. Leffingwell, D. (2018). *SAFe 5.0 Distilled: Achieving Business Agility with the Scaled Agile Framework*. Addison-Wesley Professional.
2. Modig, N., & Åhlström, P. (2020). *This Is Agile: Accelerating Agile in Your Business*. Wiley.
3. Hohmann, L. (2020). *Beyond the Software Factory: Managing Complexity and Creating the Future*. O'Reilly Media.
4. Wake, B. (2020). *Structured Storytelling: The Story Mapping Field Guide*. Leanpub.
5. Adzic, G. (2018). *Impact Mapping: Making a Big Impact with Software Products and Projects*. Leanpub.
6. DeGrandis, G. (2018). *Making Work Visible: Exposing Time Theft to Optimize Work & Flow*. IT Revolution.
7. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. *Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering*.

8. Sjoberg, D. I., Kampenes, V. B., Dyba, T., & Fredriksen, O. (2018). *A review of agile software development research: 2001–2018*. *Journal of Systems and Software*, 145, 1–28.
9. Torkar, R., Gerasimova, A., & Pleshko, M. (2019). *Investigating the use of user stories in large-scale agile development: A systematic mapping study*. *Journal of Systems and Software*, 154, 148–166.
10. Niazi, M., Saima, M., & Al-Samarraie, H. (2019). *Agile requirements engineering practices in distributed software development: a systematic literature review*. *Journal of Software: Evolution and Process*, 31(9), e2201.
11. Fernandes, J., Correia, M., & Dias, M. G. (2020). *Requirements Engineering in Agile: A Systematic Literature Review*. *Information and Software Technology*, 118, 106362.
12. Jain, N., Mishra, A., & Sharma, M. K. (2020). *A comparative analysis of user stories and use cases for requirements engineering in agile software development*. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(3).
13. Al-Wushahi, H., Al-Maimani, S., Al-Rawahi, F., Al-Abri, K., & Al-Shafi, S. (2021). *Agile Requirements Engineering: A Systematic Literature Review on Practices, Challenges, and Success Factors*. *IEEE Access*, 9, 16402-16417.
14. Hussain, S., & Babar, M. A. (2021). *Integrating Use Cases with User Stories in Agile Software Development: A Systematic Literature Review*. *Information and Software Technology*, 137, 106644.
15. Kashwan, N., & Sharma, A. (2022). *A Hybrid Approach for Requirements Elicitation in Agile Software Development: User Stories and Use Cases Integration*. *Journal of Soft Computing Paradigm*, 4(1), 1–14.
16. Ahmad, M., & Usman, M. (2023). *Eliciting and Managing Requirements in Agile Software Development: A Comprehensive Review of Practices and Tools*. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 23(2).
17. Al-Rahim, R., & Jabbar, M. (2023). *Improving Requirements Engineering in Agile Software Development using User Story Mapping and Behaviour Driven Development*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2588(1), 012025.

ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Системи електронної комерції функціонують в умовах високої інтенсивності користувацьких запитів, постійного розширення функціональності та необхідності гнучкого масштабування окремих компонентів, що зумовлює доцільність застосування мікросервісної архітектури в цій сфері [1]. Мікросервісний підхід дозволяє будувати систему у вигляді сукупності незалежних сервісів, які можуть розроблятися, розгортатися та змінюватися автономно, що особливо важливо для e-commerce платформ із динамічними бізнес-процесами.

У сучасних дослідженнях підкреслюється, що для ефективної побудови мікросервісних систем важливе не лише технічне розділення компонентів, а й коректне визначення меж бізнес-доменів, відповідальності сервісів та логіки їхньої взаємодії. Саме тому розробка моделі мікросервісної архітектури повинна розглядатися як поетапний процес, що поєднує аналіз предметної області, декомпозицію системи, архітектурне моделювання та оцінювання практичної придатності запропонованого рішення [2].

Метою роботи є визначення основних етапів розробки моделі мікросервісної архітектури для систем електронної комерції та обґрунтування їх послідовного застосування в процесі проектування інформаційної системи. Досягнення цієї мети передбачає узгодження бізнес-процесів електронної комерції з архітектурними рішеннями, вибір підходів до декомпозиції сервісів, проектування міжсервісної взаємодії та формалізацію архітектури за допомогою засобів моделювання.

Початковим етапом є аналіз предметної області електронної комерції та виявлення ключових бізнес-процесів, які повинні бути підтримані інформаційною системою. До таких процесів належать керування каталогом товарів, обробка кошика, оформлення замовлення, здійснення платежів, організація доставки, а також комунікація з користувачами та зовнішніми сервісами. На цьому етапі також

визначаються нефункціональні вимоги, зокрема вимоги до масштабованості, відмовостійкості, продуктивності, інформаційної безпеки та інтеграції із зовнішніми платформами [4].

Другим етапом є декомпозиція системи на окремі сервіси відповідно до бізнес-доменів та меж відповідальності. Дослідження, присвячені використанню Domain-Driven Design у мікросервісній архітектурі, підкреслюють важливість bounded contexts як засобу формування логічно узгоджених меж сервісів [3]. У контексті систем електронної комерції така декомпозиція зазвичай охоплює сервіси керування користувачами, каталогом товарів, кошиком, замовленнями, оплатою, доставкою та сповіщеннями, а також API Gateway як компонент керування зовнішніми запитами.

Третім етапом є проектування механізмів взаємодії між мікросервісами та організації роботи з даними. У дослідженнях, присвячених реалізації e-commerce систем на основі мікросервісної архітектури, вказується на доцільність використання REST/HTTP, JSON, API Gateway і підходу database-per-service, що забезпечує зниження залежностей між сервісами. Для систем електронної комерції важливим є також поєднання синхронних і асинхронних сценаріїв взаємодії, оскільки частина операцій потребує негайної відповіді користувачу, тоді як інші можуть виконуватися у фоновому режимі [2 6].

Четвертим етапом є формалізація архітектури шляхом побудови **моделі** із застосуванням відповідних засобів моделювання. Для цього можуть використовуватися UML-діаграми та підходи Domain-Driven Design, які дозволяють відобразити структуру бізнес-доменів, склад сервісів і взаємозв'язки між ними. Побудована модель повинна відображати склад сервісів, їхню взаємодію, правила інтеграції, потоки даних та інфраструктурні аспекти, пов'язані з контейнеризацією й маршрутизацією запитів [2 5].

П'ятим етапом є оцінювання практичної придатності розробленої **моделі** з точки зору її стійкості до змін, гнучкості масштабування та зручності супроводу. У дослідженнях відзначається, що система, побудована на основі DDD, API Gateway та database-per-service, забезпечує належний рівень відмовостійкості й низький рівень залежностей між сервісами. Це свідчить про доцільність використання поетапного підходу до розробки моделі, оскільки він дозволяє узгодити бізнес-логіку, структуру сервісів та технічні механізми їх реалізації [2 3].

**Етапи розробки моделі мікросервісної архітектури
для систем електронної комерції**

Етап	Зміст етапу	Основний результат
Аналіз предметної області	Виявлення бізнес-процесів електронної комерції та нефункціональних вимог	Формалізований набір вимог до системи
Декомпозиція на мікросервіси	Виділення bounded contexts і визначення меж сервісів	Архітектурний перелік сервісів і зон відповідальності
Проектування взаємодії та даних	Вибір API-підходів, database-per-service, каналів синхронної й асинхронної взаємодії	Схема міжсервісної взаємодії та підходи до зберігання даних
Побудова моделі	Застосування UML і DDD для формалізації архітектури	Комплект архітектурних описів і схем
Оцінювання моделі	Аналіз відмовостійкості, гнучкості та зручності подальших змін	Уточнена модель, придатна до прототипування

На рис. 1 подано узагальнену структурну схему мікросервісної архітектури системи електронної комерції, у якій клієнтські застосунки взаємодіють із внутрішніми сервісами через API Gateway. Такий підхід є характерним для сучасних e-commerce платформ, де окремі бізнес-функції реалізуються незалежними сервісами з власними зонами відповідальності.

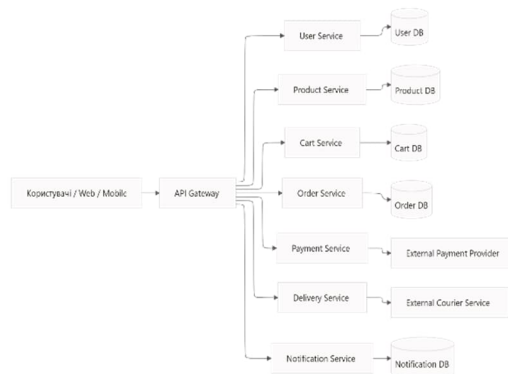


Рис. 1. Узагальнена структурна схема мікросервісної архітектури системи електронної комерції [2 5]

На рис. 2 наведено логіку послідовності етапів розробки моделі, яка відображає перехід від виявлення бізнес-вимог до формалізації архітектури та її подальшої перевірки. Такий підхід відповідає сучасним уявленням про побудову мікросервісних систем, у яких доменний аналіз, декомпозиція та моделювання є взаємопов'язаними етапами єдиного процесу.



Рис. 2. Логіка послідовності етапів розробки моделі

Отже, розробка моделі мікросервісної архітектури для систем електронної комерції є поетапним процесом, який охоплює аналіз предметної області, декомпозицію системи, проєктування взаємодії сервісів, побудову формалізованої моделі та оцінювання її практичної придатності [2 3]. Послідовне виконання цих етапів забезпечує логічне узгодження бізнес-процесів електронної комерції з архітектурними рішеннями та створює основу для побудови гнучкої, масштабованої й стійкої до змін інформаційної системи [1 4].

Список використаних джерел

1. Samoylenko, H., & Selivanova, A. (2023). Features of microservices architecture in e-commerce systems. *Mathematical machines and systems*.
2. Suthendra, J. A., & Pakereng, M. A. I. (2020). Implementation of microservices architecture on e-commerce web service. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 11(2), 89–95. <https://doi.org/10.21512/comtech.v11i2.6453>
3. Zhong, C., Li, S., Huang, H., Liu, X., Chen, Z., Zhang, Y., & Zhang, H. (2024). Domain-Driven Design for microservices: An evidence-based investigation. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 50(6), 1425–1449. <https://doi.org/10.1109/TSE.2024.3385835>
4. Özkan, O., Babur, Ö., & van den Brand, M. (2025). Domain-Driven Design in software development: A systematic literature review on implementation, challenges, and effectiveness. *Journal of Systems and Software*, 230, 112537.
5. Google. (б. д.). E-commerce microservices on Kubernetes. Google Developers. <https://developers.google.com/learn/pathways/solution-ecommerce-microservices-kubernetes>
6. Svitla Systems. (2023). E-commerce microservices architecture [Мікросервісна архітектура в електронній комерції]. Svitla Systems Blog. <https://svitla.com/blog/ecommerce-microservices-architecture>.

Tetiana STOLIAROVA

candidate of pedagogical sciences, associate professor
(orcid.org/0009-0006-8463-495X)

State university of trade and economics
Kyiv, Ukraine

DATA PROCESSING ECOSYSTEM: SYNERGY OF MS OFFICE AND CLOUD SOLUTIONS FOR EFFECTIVE ANALYTICS

Modern data processing requires a transition from isolated tools to a unified ecosystem. The synergy of local tools (MS Office) and cloud services (OneDrive, SharePoint, Azure) enables the implementation of the «Data as a Service» model, ensuring a continuous cycle from information collection to management decisionmaking.

Cloud technologies transform storage and access methods: the hybrid model combines the local computing power of Excel with cloud storage to provide mobility and security; the centralization of a «single source of truth» involves using the cloud to eliminate data duplication and version conflicts during collaborative work [1, 112].

The next time your input data changes (for example, you add a new file for March to a folder), you do not need to repeat all actions. You simply click: Data –* Refresh All. Power Query' will automatically run through all recorded steps and provide the finished result in a second [4, 214].

If your goal is for 5 colleagues to edit one file simultaneously without creating copies like «Report_final_2_ed.xlsx,» the methods are as follows: the co-authoring method, where the file is stored in OneDrive or SharePoint. You see your colleagues' colored cursors in real-time. Version control: the cloud stores the history of changes. If someone accidentally deletes an important formula, you can roll back to a version from 2 hours ago. Data collection via forms: instead of sending out an Excel file, you create Microsoft Forms. People fill in the responses, and the data automatically flows into your cloud Excel table.

The key method for processing structured data is the use of Power Query technology. The declarative transformation method: creating data cleaning algorithms without writing code (Low-code/No-code). Integration of external sources: automatic pulling of data from web APIs, SQL databases, and cloud storage, allowing for work with dynamic arrays in real-time [5].

The ETL stage (Extract, Transform, Load). Power Query operates on a three- step model. Extract: connecting to a source. This can be a CSV file, another Excel workbook, a folder with files, a web page, or a cloud SQL database. Transform: you «show» the program what needs to be done (delete empty rows, split last and first names, change the date format). Load: the cleaned data is loaded into an Excel table or a data model [2].

How to set up automation (algorithm)

1. Data –* Get Data: Select the source (for example, «From File» -> «From Folder»). This is convenient if you add a new report to the folder every month.
2. Transform Data: A separate editor window will open. Each of your actions (for example, deleting a column) is recorded in the “Applied Steps”⁵ panel on the right. This is similar to a macro but without programming.
3. Close & Load: The data is placed onto an Excel sheet.

The methodology for preparing analytical reports is based on a dynamic connection between applications. MS Word as a tool for structured documentation: using objects linked to Excel (Linked Objects) for the automatic update of financial and statistical reports. MS PowerPoint as a model of visual communication: transforming analytical models into interactive dashboards for presenting results to stakeholders [6].

The use of cloud solutions introduces new processing standards: Co-authoring – a method of simultaneous editing that reduces time spent on data reconciliation. Version control and audit – change tracking technologies that minimize the risk of losing critical information or unauthorized interference [3, 101].

The integration of classic office suites with cloud technologies creates a flexible and scalable data processing model. This allows not only for an increase in the speed of analytical processes but also ensures high accuracy of results through the automation of routine operations (ETL) and the centralization of information flows.

References

1. Alreshidi, A. (2025). Cloud computing convergence: Integrating computer applications and information management for enhanced efficiency. *Frontiers in Big Data*, 8, 112–128. <https://doi.org/10.3389/fdata.2025.1508087>
2. Dotcom Software. (2026). How Microsoft Technology Redefines Businesses in 2026: The Synergy of AI and Cloud Ecosystems. Industry

- White Paper. <https://www.dotcomsoftware.co.za/blog/how-microsoft-technology-redefines-businesses-in-2026.html>
3. Kotenko, S., & Belik, M. (2023). Information management in cloud environments: A paradigm shift for modern enterprises. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(1), 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100153>
 4. Li, X. (2024). Scalable architectures for data analytics: From local Excel models to cloud-based data lakes. *Journal of Digital Transformation*, 10(2), 210–225.
 5. Microsoft. (2026). Microsoft Fabric and Power Query: The future of Low-code ETL. Official Documentation. <https://doi.org/10.1080/jdt.2024.102210>
 6. Pathak, M. (2022). *Advanced Excel Reporting: Leveraging Power Query and VBA for Automated Financial Forecasting*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01845-9>

Андрій НЕЧЕПУРЕНКО

кандидат економічних наук, доцент
(orcid.org/0009-0003-5828-0762)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Олександр ХАВРЕНКО

студент
(orcid.org/0009-0005-2573-7572)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛУ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ДІЯМИ КОРИСТУВАЧА ТА АЛГОРИТМАМИ YOUTUBE У НОТАЦІЇ UML ACTIVITY DIAGRAM

Сучасні платформи спільного використання відеоконтенту, серед яких лідером є *YouTube*, функціонують як складні соціокібернетичні системи. За даними самої платформи, щодня переглядається понад мільярд годин відео, а частка контенту від алгоритму перевищує 70% від загального часу перегляду. Головним рушієм утримання аудиторії є рекомендаційна система – нейромережевий комплекс, що персоналізує контент для кожного окремого користувача.

Система працює в постійному динамічному контурі зворотного зв'язку (*feedback loop*) із користувачем. Кожна дія людини – від прогортання стрічки до тривалого перегляду – є сигналом для алгоритму, що призводить до коригування персоналізованої видачі. Для формального опису таких систем застосовують методи об'єктно-орієнтованого моделювання, зокрема уніфіковану мову моделювання *UML (Unified Modeling Language)*.

Метою роботи є побудова поведінкової моделі взаємодії користувача з алгоритмами YouTube за допомогою діаграми прецедентів (*Use Case Diagram*) та діаграми діяльності (*Activity Diagram*).

Об'єктом дослідження є рекомендаційна система YouTube як адаптивна система із зворотним зв'язком; предметом – процес формалізації поведінкової взаємодії між користувачем та алгоритмом у нотації UML.

Моделювання алгоритмічних систем базується на розподілі обов'язків між акторами та об'єктами системи [1; 3]. Будь-яка сучасна інформаційна система, що працює з великими даними (*Big Data*), реалізує концепцію входних сигналів, їхньої обробки та формування вихідного результату із наступним коригуванням внутрішнього стану. Таким чином, рекомендаційна платформа може розглядатись як система автоматичного регулювання, де виходом є персоналізована стрічка, а входними сигналами – поведінкові реакції користувача [2].

Дослідники виокремлюють два ключових архітектурних рівні рекомендаційних систем: рівень генерації кандидатів та рівень ранжування. На першому – із мільйонів відео відбирається кілька сотень кандидатів на основі колаборативної фільтрації. На другому – кожному кандидату присвоюється числовий рейтинг відповідно до прогнозованого часу перегляду та ймовірності кліку [4].

Нотація UML Activity Diagram є загальновизнаним інструментом для формалізації динамічних процесів, оскільки дозволяє відображати паралельні потоки інформації, умовні переходи та зони відповідальності (*swimlanes*) різних акторів [3].

У контексті рекомендаційних платформ взаємодію між користувачем та системою можна декомпонувати на два принципово різні типи сигналів:

- Явні (*Explicit*) сигнали – прямі навмисні дії користувача: лайк, дизлайк, підписка на канал, додавання до плейлиста, коментар. Ці дії чітко відображають ставлення та безпосередньо оновлюють профіль інтересів.
- Неявні (*Implicit*) сигнали – поведінкові фактори, що зчитуються алгоритмом автоматично: час утримання погляду на

прев'ю, клікабельність (CTR), тривалість перегляду (Retention), факт перемотування та швидкість прокручування стрічки.

Таблиця 1

Вплив поведінкових факторів користувача на алгоритм YouTube

Дія користувача	Тип сигналу	Реакція алгоритму YouTube	Пріоритет
Ігнорування прев'ю (прокрутка)	Неявний	Зниження CTR; зменшення показів схожим користувачам	Низький
Клік по прев'ю відео	Неявний	Підвищення CTR; запуск таймера відліку утримання	Середній
Закриття у перші 30 секунд	Неявний	Сигнал клікбейту; різке зниження показів	Критично високий (–)
Перегляд > 50% або до кінця	Неявний	Максимальний Retention; активне просування схожій аудиторії	Критично високий (+)
Лайк / підписка	Явний	Додавання тематики до профілю інтересів	Високий
Додавання до плейлиста	Явний	Фіксація стійкого інтересу; посилення суміжних рекомендацій	Високий

- У досліджуваному процесі беруть участь два основних актори:
- Глядач (User) – людина, яка використовує платформу для перегляду контенту. Поведінка є нелінійною та визначається поточними інтересами, настроєм і реакцією на візуальні тригери.
 - Рекомендаційна система YouTube – обчислювальний комплекс на базі двох нейромережевих етапів: генерації кандидатів (Candidate Generation) та ранжування (Ranking). На першому із мільйонів відео відбирається кілька сотень, на другому – кожному присвоюється бал за прогнозованим Retention та CTR.

Діаграма Use Case відображає зовнішній інтерфейс системи: які дії «Глядач» може здійснити (переглянути стрічку, відкрити відео, поставити оцінку, підписатися) та які функції надає система. Діаграма Activity із зонами *swimlanes* («Глядач» / «Алгоритм YouTube»)

моделює динамічний контур: від відображення стрічки – до дії користувача – логування – перерахунку вагових коефіцієнтів – оновлення рекомендацій.

Цикл зворотного зв'язку функціонує безперервно впродовж усієї сесії та накопичує дані між сесіями. Алгоритмічний ланцюжок складається з шести етапів:

- Ініціалізація – завантаження поточного профілю інтересів та генерація персоналізованої стрічки.
- Відображення – виведення списку прев'ю, оптимізованих для максимізації CTR.
- Взаємодія – користувач здійснює дію; кожна подія фіксується у реальному часі.
- Логування – тип дії, час, ідентифікатори відео та автора записуються в розподілену базу даних.
- Перерахунок – нейромережа оновлює вагові коефіцієнти кластерів інтересів у профілі.
- Оновлення стрічки – наступна генерація кандидатів враховує оновлений профіль, замикаючи цикл.

Система інтерпретує весь спектр поведінки – включно з бездіяльністю (ігнорування прев'ю) – як інформативний сигнал. Це робить алгоритм точним у прогнозуванні, проте формує ефект «фільтрувальної бульбашки» (*filter bubble*), за якого розмаїтість рекомендованого контенту поступово звужується.

Моделювання циклу зворотного зв'язку засобами UML дозволяє досягти двох ключових результатів. По-перше, формалізувати логіку функціонування рекомендаційної системи, зробивши її доступною для аналізу. По-друге, виявити вузлові точки впливу, де поведінка користувача найбільш суттєво змінює траєкторію алгоритму.

Побудована модель демонструє, що рекомендаційна система YouTube є динамічною адаптивною структурою, яка безперервно оновлює свій стан на основі поведінки аудиторії, а не статичним набором правил. Практична цінність результатів полягає у можливості їх застосування як методичної основи для проектування аналогічних систем та розробки стратегій просування контенту.

Список використаних джерел

1. Мироненко, М. В. (2023). Моделювання бізнес-процесів складних систем на основі об'єктно-орієнтованого підходу. Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця.

2. Кулик, В. А., & Федорчук, О. М. (2022). Системний аналіз та проектування контурів зворотного зв'язку в рекомендаційних інтерфейсах. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, (3), 112–118.
3. Марченко, Ю. І. (2021). Використання нотації UML Activity Diagram для моделювання поведінкових факторів користувачів інформаційних платформ. *Журнал кібернетики та системного аналізу*, 14(2), 45–53.
4. Шевченко, Д. В. (2020). Управління соціокібернетичними системами спільного використання контенту на основі динамічного відгуку алгоритмів. Сумський державний університет.

Кирило САВЧУК

аспірант

(orcid.org/0009-0000-7851-9070)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ЕВОЛЮЦІЯ CRM- ТА ERP-СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ ПІДПРИЄМСТВОМ: ВІД МОНОЛІТНОЇ ДО КОМПОЗИТНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Управління підприємством потребує інформаційних систем, які швидко реагують на зміни в бізнес-процесах, організаційній структурі, каналах роботи з клієнтами та вимогах до операційної аналітики. Системи управління відносинами з клієнтами та планування ресурсів які виконували роль централізованих систем обліку, поступово перетворюються на технологічну основу управління. Архітектура таких систем перестає бути лише технічним питанням і набуває значення фактору управління. Саме воно визначає швидкість зміни функціональності, цінність окремих процесів, стійкість до відмов і можливість подальшої цифрової трансформації підприємства.

Велика частина CRM- та ERP-рішень була сформована в межах монолітної архітектури, де інтерфейс, модулі обробки даних та механізми інтеграції функціонують як єдине ціле. Цей підхід забезпечує централізований контроль, але може ускладнити оновлення системи в умовах динамічної управлінської потреби.

В дослідженнях переходу від монолітних систем до мікросервісної архітектури підкреслюється, що серед ключових мотивів

такої трансформації є підвищення продуктивності та оновлення програмних систем [1; 2]. Тому розвиток CRM- та ERP-систем можна розглядати не лише як зміну програмної архітектури, а як перехід до покращеної моделі підтримки управлінських рішень. Композитна архітектура дає змогу розглядати корпоративну систему як сукупність взаємопов'язаних компонентів, що відповідають за окремі бізнес-можливості підприємства.

Водночас монолітна архітектура – це не застаріле рішення. Її перевагами залишаються простота початкового розгортання, централізованість керування та цілісність управління. Проте в умовах динамічного підприємства ці переваги часто переходять в обмеження. Залежність між компонентами підвищує ризик того, що зміна одного модуля потребуватиме тестування або перероблення частини системи. Оновлення стають повільнішими, а впровадження нових функцій дорожчим і більш ризикованими. Це проявляється у зростанні технічного боргу, складності підтримки персоналізованого ядра та збільшенні вартості адаптації системи до нових управлінських потреб.

У композитній моделі корпоративна система будується як набір компонентів, що відповідають за окремі бізнес-можливості. Її зміст полягає не лише у технічному поділі застосунку на сервіси, а й у переході до модульної організації управлінської функціональності. У такій моделі окремі бізнес-можливості розвиваються, оновлюються та масштабуються незалежно. Це наближує архітектуру CRM та ERP до реальної структури підприємства, де маркетинг, продажі, закупівлі, логістика, фінанси та сервісне обслуговування мають власну динаміку змін, але повинні залишатися частинами єдиного управління.

Декомпозиція моноліту має починатися не з технічного поділу коду, а з визначення бізнес-функцій, які система фактично підтримує. Саме ці функції мають задавати межі майбутніх сервісів. Тому під час аналізу переходу від моноліту до мікросервісів доцільно звернутися до Domain-Driven Design.

У праці М. Левезінью та ін. DDD розглянуто як підхід, що допомагає точніше окреслити доменні межі перед виокремленням частин моноліту в окремі мікросервіси [3]. Для систем управління відносинами з клієнтами та планування ресурсів декомпозиція не повинна обмежуватися лише структурою коду. Вона має враховувати, як у компанії побудовані управлінські процеси: обробка заявок, продажі, документообіг, робота зі складом і фінансами.

Порівняння монолітної та композитної архітектур CRM/ERP-систем

Критерій	Монолітна архітектура	Композитна архітектура
Архітектурна зв'язаність	Висока залежність між модулями. Зміни часто зачіпають велику частину системи	Локалізація змін у межах окремих сервісів або бізнес-можливостей.
Оновлення та розвиток	Оновлення є ризикованими, потребують комплексного тестування і можуть впливати на безперервність процесів	Окремі компоненти можуть оновлюватися частіше, з меншим впливом на всю систему
Масштабування	Розширюється більша частина системи, навіть якщо навантаження зростає лише в одному процесі	Розширюються окремі сервіси, пов'язані з конкретними функціями або каналами роботи
Відмовостійкість	Збій у критичному компоненті може створювати ризик для всієї платформи	Ізоляція компонентів зменшує поширення відмов і полегшує відновлення
Управлінський ефект	Уповільнення розвитку бізнес-моделі	Багаторівневість підвищує керування змінами і підтримує еволюцію бізнес-процесів

Технічною формулою композитного підходу в корпоративному програмному забезпеченні часто виступає MACH-архітектура. Вона поєднує чотири принципи: *microservices*, *API-first*, *cloud-native SaaS* та *headless*. За визначенням MACH Alliance, така архітектура орієнтується на невеликі незалежні компоненти, API як основний спосіб взаємодії, хмарну модель розгортання та відокремлення користувацького інтерфейсу від бекенд-логіки [4]. Для управління підприємством важливо, що MACH не слід розглядати як окремий програмний продукт або універсальний стандарт заміни ERP/CRM. Доцільніше використовувати його як набір принципів, що задають напрям модернізації. Від жорстко зв'язаної системи до набору керованих, взаємозамінних і масштабованих компонентів. Cloud-native вимір цієї трансформації посилює її практичне значення. Хмарно-орієнтовані системи використовують мікросервіси, розділення на «контейнери», керування та CI/CD-процеси для забезпечення гнучкості, розширення та швидкого розгортання змін [5]. У CRM/ERP-контексті це означає

можливість швидше розвивати ті частини системи, які безпосередньо підтримують управлінські рішення. А саме: облік замовлень, управління запасами, планування ресурсів, клієнтський сервіс, аналітичні контури та операційну звітність. Однак такий перехід потребує вмілого управління архітектурою, сервісними контрактами, кібербезпекою та якістю даних.

Важливо розділяти композитність та фрагментацію. Композитна архітектура не означає хаотичне поєднання різних сервісів. Навпаки, вона потребує чіткої архітектурної дисципліни: визначених меж відповідальності, стабільних API-контрактів, погодженої моделі даних, політик безпеки, процес запису подій та механізмів моніторингу. Без цих умов підприємство може отримати не гнучку систему, а складну сукупність слабо керованих компонентів. Створювати технології з окремих незалежних блоків – цікава думка. Але вона принесе справжню користь бізнесу лише тоді, коли команда достатньо досвідчена та готова правильно цим керувати.

Для ERP- та CRM-систем перехід до композитної архітектури має відбуватися поступово. Найбільш обґрунтованою є стратегія поетапного виокремлення тих функціональних доменів, де монолітність створює найбільші обмеження. Наприклад: клієнтські канали, модулі звітності, сервісні процеси або окремі операційні функції з високою частотою змін. Такий підхід відповідає еволюційній логіці модернізації, за якої підприємство не руйнує існуючу систему, а послідовно зменшує її архітектурну інерцію.

Еволюція CRM та ERP від монолітної до композитної архітектури є не лише технологічним, а й управлінським процесом. Монолітна архітектура зберігає значення для стабільних і відносно простих середовищ, однак у динамічних умовах вона обмежує швидкість адаптації підприємства. Композитний підхід, побудований на принципах модульності, доменної декомпозиції, API-взаємодії та cloud-native експлуатації. Він забезпечує гнучкішу управлінських систем. Перспективність такого підходу полягає у здатності підтримувати не разову цифровізацію, а безперервну еволюцію підприємства як складної соціально-технічної системи.

Список використаних джерел

1. Abgaz, Y. M., McCarren, A., Elger, P., Solan, D., Lapuz, N., Bivol, M., Jackson, G., Yilmaz, M., Buckley, J., & Clarke, P. (2023). Decomposition of monolith applications into microservices architectures:

- A systematic review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 49(8), 4213-4242. <https://doi.org/10.1109/TSE.2023.3287297>
2. Trabelsi, I., Moha, N., & Guéhéneuc, Y.-G. (2025). A systematic literature review of machine learning approaches for migrating monolithic systems to microservices. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.15941>
 3. Levezinho, M., Kapferer, S., Zimmermann, O., & Silva, A. R. (2024). Domain-driven design representation of monolith candidate decompositions based on entity accesses. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.02512>
 4. MACH Alliance. (2026). MACH at different levels. Retrieved from <https://machalliance.org/insights-hub/mach-at-different-levels>
 5. Deng, S., Zhao, H., Huang, B., Zhang, C., Chen, F., Deng, Y., Yin, J., Dustdar, S., & Zomaya, A. Y. (2024). Cloud-native computing: A survey from the perspective of services. *Proceedings of the IEEE*, 112(1), 12-46. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2024.3353855>
 6. Evans, E. (2003). *Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software*. Boston, MA: Addison-Wesley.
 7. Lewis, J., & Fowler, M. (2014). *Microservices: A definition of this new architectural term*. Retrieved from <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>
 8. Newman, S. (2019). *Monolith to microservices: Evolutionary patterns to transform your monolith*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

Olena HOROKHOVA

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
(orcid.org/0000-0001-7444-6839)

State university of trade and economics
Kyiv, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGIES AS A DRIVER OF THE DEVELOPMENT OF MODERN EDUCATION

Modern education is at the stage of active transformation, driven by the rapid development of information technologies. The digitalization of the educational space has ceased to be an additional option and has become a necessary condition for the effective functioning of educational institutions [1; 2]. In the period 2020–2025, significant changes have

occurred in approaches to the organization of education, which has led to the formation of new educational models, in particular, blended and distance learning. In parallel with the development of digital infrastructure, artificial intelligence (AI) technologies are being actively implemented, which significantly expand the possibilities of creating, presenting, and learning educational material. Information technology has become the foundation of educational processes. It includes not only computers or mobile devices, but also cloud services, learning platforms, learning management systems (LMS), and digital communication tools.

Research shows that the majority of students (approximately 85%) use smartphones to access educational materials, which necessitates the adaptation of content to mobile devices [1]. This means that educational resources must be not only informative but also convenient to use. An important component of digitalization is also a change in the assessment system. Some of the functions of knowledge control are gradually being transferred to automated systems and artificial intelligence algorithms, which allows optimizing the verification process and making it more objective. One of the key outcomes of the digital transformation has been the introduction of blended learning, which combines traditional classroom classes with online formats [1; 5]. This approach allows:

- to ensure flexibility in the learning process;
- to eliminate spatial and time constraints;
- to adapt the pace of learning to the individual needs of students.

In this model, the teacher ceases to be the sole source of knowledge and takes on the role of a mentor or consultant who helps to structure information and develop critical thinking.

The use of specialized software allows you to increase the efficiency of mastering complex topics by 12–18%, which indicates the positive impact of digital technologies on the quality of education. Artificial intelligence is one of the most promising tools in modern education. It is a system of algorithms that can analyze data, generate recommendations, and perform tasks that previously required human intervention. In the educational process, AI is used to:

- create educational materials (presentations, notes, tests);
- automate assessment;
- organize individual learning;
- support students in real time.

Popular tools include, for example, ChatGPT, Gemini, Copilot, Canvas, Gamma, Grammarly, and other services that help both teachers and students work effectively with information.

The use of modern information technologies in education provides a number of significant advantages (see Fig. 1):

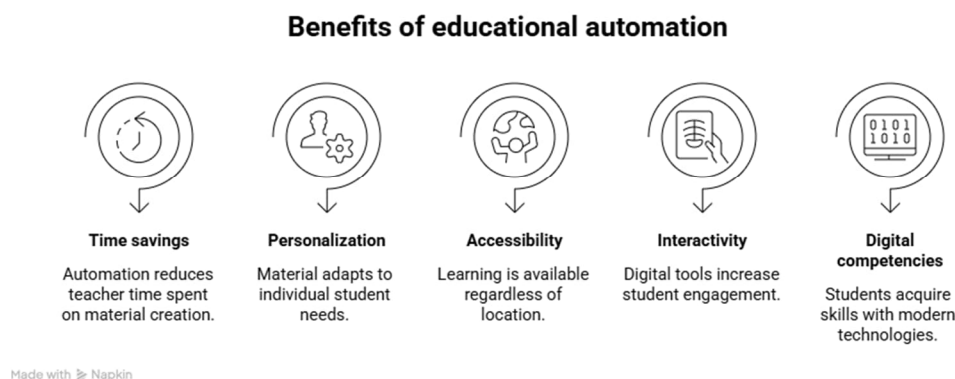


Fig. 1. Benefits of using information technology and AI [3; 4]

In addition, digitalization promotes the integration of university programs with online courses and educational platforms, which brings education closer to the real needs of the labor market.

The use of information technology and artificial intelligence is accompanied by a number of challenges and risks for digital education:

- Academic integrity – the possibility of AI misuse during tasks;
- Insufficient level of digital skills of teachers;
- Risk of loss of critical thinking due to excessive automation;
- Data security issues and the need to protect digital documents;
- Psychological barriers to the implementation of new technologies among older teachers.

Particular attention is paid to issues of educational data protection, including the possibility of using blockchain technologies to verify the authenticity of diplomas and certificates.

It is important to maintain a balance between technology and traditional teaching methods, despite the active digitalization. Live communication, discussions and direct interaction between the teacher and the student remain key elements in the formation of critical thinking and personal development.

The combination of modern information technologies with classical pedagogical approaches is the most effective strategy for the development of education.

Thus, information technologies play a decisive role in the development of modern education. Digitalization and the responsible use of artificial intelligence open up new opportunities to improve the quality

of education, ensure its accessibility and personalization. Blended learning, as a combination of traditional and digital approaches, is the most effective model of organizing the educational process. At the same time, the introduction of new technologies requires a responsible approach, the development of digital competencies and adherence to the principles of academic integrity.

Moreover, the future of education is associated with the harmonious integration of innovative technologies and traditional pedagogical values, which will allow the formation of competitive specialists in the digital society.

References

1. OECD Digital Education Outlook 2021 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2021_589b283f-en.html (date of application: 22.05.2026).
2. UNESCO Global Education Monitoring Report 2023–2025 [Electronic resource]. – Access mode: <https://unesco.org/nz/knowledge-hub/unesco-global-education-monitoring-report> (Date of application: 22.05.2026).
3. Ayeni O. O., Al Hamad N. M., Chisom O. N., Osawaru B., Adewusi O. E. AI in Education: A Review of Personalized Learning and Educational Technology // GSC Advanced Research and Reviews. – 2024. – Vol. 18, № 2. – Pp. 261–271. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.18.2.0062>
4. Educational Technology & Society: International Scientific Journal [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=18405&tip=sid> (Date of application: 22.05.2026).
5. Bojchuk, V., Kovaljchuk, O., & Umanets, V. Digitalization of the educational process as a condition for the development of professional thinking of the future teacher / V.Bojchuk, O.Kovaljchuk & V.Umanets // Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems, –2024, –71, – pp. 117-125. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-71-117-126>

Віталій БАЗУРІН

кандидат педагогічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-6614-4889)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

Ольга ЧАШЕЧНИКОВА

доктор педагогічних наук, професор
(orcid.org/0000-0003-1101-5534)

Сумський державний педагогічний університет
імені А. М. Макаренка
м. Суми, Україна

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Більшість досліджень у галузі педагогічних наук передбачають експеримент. Лише шляхом експерименту можна визначити ефективність створеної методичної системи, запропонованих підходів до вивчення теми, методів і технологій навчання. Педагогічний експеримент передбачає не лише проведення занять, виконання студентами або учнями завдань, а й кількісну оцінку і порівняння результатів. Зазвичай порівнюються показники контрольної та експериментальної груп до експерименту і після нього, або показники експериментальної групи до і після експерименту. Потрібно не лише порівняти показники, а й визначити, чи є виявлені відмінності значущими, чи не є значущими. З цією метою використовуються різні статистичні критерії: Пірсона, Вілкоксона, Ст'юдента, Манна-Уїтні та інші. Деякі розраховані на великі вибірки, деякі – на невеликі вибірки. Обчислення статистичних критеріїв здійснюється за допомогою відповідних програмних засобів. Проте більшість цих засобів є платними (SPSS, Statistica), потребують володіння специфічною мовою програмування (MatLAB) або потребують введення громіздких формул і пошуку таблиць значущості для критерію, який розраховується (MS Excel).

Раніше нами було розроблено програмний засіб StatCriterion [1], який автоматизує обчислення вибраного критерію з трьох: Манна-Уїтні, Ст'юдента або Пірсона. Програмний засіб побудовано за модульної архітектурою, для обчислення критеріїв використовується відповідна бібліотека (теж розроблена нами). Під час дослідної експлуатації цього програмного засобу було виявлено, що більш

ефективною буде інформаційна система для обробки результатів педагогічного експерименту, всі необхідні дані міститимуться в базі даних. На основі аналізу наукових праць [2;3;4] визначено орієнтовну структуру інформаційної системи для обробки результатів педагогічного експерименту. Шляхом нормалізації бази даних визначено оптимальну її структуру (рис. 1).

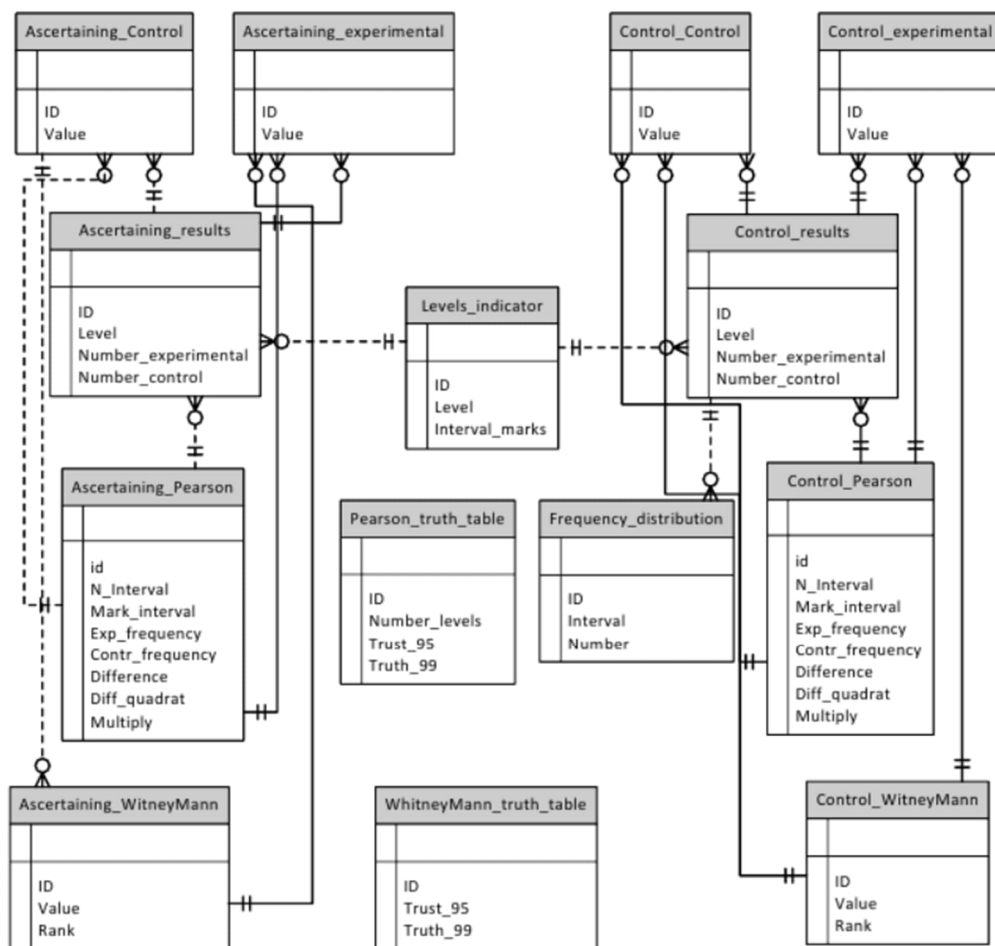


Рис. 1. Структура бази даних інформаційної системи для обробки результатів педагогічного експерименту

Розроблена інформаційна система, крім бази даних, включає також додаток, який здійснює обробку даних і основні операції з базою даних. Розроблений додаток виконує такі функції: створює базу даних з заданою структурою (рис. 1); заповнює таблиці істинності для кожного з трьох критеріїв (Ст'юдента, Пірсона, Манна-Уїтні); зчитує вхідні дані з файлів TXT, XLS, XLSX, CSV і записує дані у відповідні таблиці; обчислює для двох таблиць значення вибраного статистичного критерію; порівнює отримані емпіричні значення критерію з табличними і формулює висновок про подібність

або відмінність вибірок; обчислює частотний розподіл за рівнями і виводить результати у вигляді діаграми.

Отже, застосування інформаційної системи для обробки результатів педагогічного експерименту є більш раціональним, ніж використання окремого додатка. У подальшому можна розширити структуру бази даних шляхом додавання таблиць для розміщення даних кількох експериментів, і для розміщення результатів кореляційного аналізу, а також доповнити створений додаток методами для обчислення кореляції між вибірками.

Список використаних джерел

1. Bazurin, V. M., Pursky, O. I., & Chashechnikova, O. S. (2025). *Application for statistical processing of pedagogical experiment results: A component-based approach*. In *Proceedings of the 8th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT 2025)* (pp. 1347–1351). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICT64420.2025.11004909>
2. Spirin, O. M., Iatsyshyn A. V., Ivanova, S. M., Kilchenko, A. V., & Luparenko, L. A. (2016). The using of the electronic systems of open access for information and analytical support pedagogical research. *Information Technologies and Learning Tools*, 55(5), 136–174. <https://doi.org/10.33407/itlt.v55i5.1501>
3. Трифонова, О., & Садовий, М. (2022). Інформаційні технології в наукових дослідженнях. *Педагогічні науки*, 98, 24–29. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2022-98-4/>
4. Spirin O., Novytska T., & Iatsyshyn A. (2018). Digital library as a source of statistical data for information-analytical support for pedagogical studies. *Journal of Information Technologies in Education (ITE)*, 35, 007–026. <https://doi.org/10.14308/ite000664>.

Анжела РИМАР

аспірант

(orcid.org/0000-0001-9077-236X)

Криворізький державний педагогічний університет

м. Кривий Ріг, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЧИСЛОВИХ РЯДІВ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ЕКОНОМІСТІВ

Сучасний розвиток освіти відбувається в умовах активної цифровізації суспільства, інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій в освітній процес та зростання вимог до професійної підготовки майбутніх фахівців економічного профілю. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема формування професійної компетентності студентів засобами математичної підготовки та цифрових технологій.

Професійна діяльність сучасного економіста пов'язана з аналізом економічних процесів, прогнозуванням тенденцій розвитку, математичним моделюванням, обробкою статистичних даних і використанням цифрових ресурсів для прийняття управлінських рішень. За таких умов важливими складниками професійної компетентності фахівця стають аналітичне мислення, цифрова грамотність, здатність до математичного аналізу та вміння застосовувати цифрові технології у професійній діяльності.

У сучасній педагогічній науці професійну компетентність розглядають як інтегративну характеристику особистості, що поєднує професійні знання, практичні вміння, мотиваційно-ціннісні установки, цифрову та аналітичну підготовку, а також здатність ефективно здійснювати професійну діяльність в умовах цифровізації суспільства та динамічних змін ринку праці [3].

Аналіз наукових джерел засвідчує значну увагу дослідників до проблем цифровізації освіти, компетентнісного підходу та професійної підготовки майбутніх економістів. Питання використання ІКТ в освіті висвітлено у працях В. Бикова, М. Жалдака, Н. Морзе, О. Спіріна, М. Шишкіної [8; 6]. Проблеми формування професійної компетентності досліджували Н. Ничкало, А. Маркова, О. Овчарук, О. Пометун та ін. [4; 2; 7]. Геометричні аспекти числових рядів і можливості їх візуалізації розглянуто у працях В. Корольського та А. Римар [8; 9]. Детальніше підходи дослідників подано в таблиці 1.

Наукові підходи до використання ІКТ, професійної підготовки та формування компетентності майбутніх фахівців

Науковий напрям	Дослідники	Основні положення
Використання ІКТ у математичній освіті	Р. Гуревич, А. Гуржій, М. Жалдак, Н. Морзе, О. Спірін [8; 6]	Досліджено сутність цифрової компетентності та напрями інтеграції ІКТ у професійну підготовку педагогів
Цифровізація освітнього середовища	В. Биков, О. Глазунова, М. Шишкіна, С. Литвинова [8]	Обґрунтовано роль цифрових технологій у створенні інноваційного освітнього середовища закладів освіти
Використання цифрових інструментів у навчанні математики	Ю. Жук, О. Кравчина, І. Іванюк, О. Овчарук, Н. Сороко [2].	Розкрито можливості візуалізації математичних понять, розвитку математичної грамотності та креативного мислення засобами ІКТ
Теорія числових рядів	Л. Ейлер, Ж. Л. Д'Аламбер, О. Коші, Е. Кумер, Г. Раабе, Я. Бернуллі [9]	Сформовано класичні підходи до дослідження збіжності та розбіжності числових рядів
Геометричне моделювання рядів	В. Корольський, А. Римар [8]	Досліджено геометричні аспекти числових рядів та можливості їх візуалізації у математичних моделях
Компетентнісний підхід у професійній освіті	А. Маркова, Н. Ничкало, Є. Зеєр, Т. Браже [6; 5]	Професійна компетентність трактується як інтеграція знань, умінь, досвіду, творчості та здатності до саморозвитку
	А. Маркова, Н. Гришанова, В. Ісаєва, Ю. Татур.	Професійна компетентність розглядається як сукупність професійно значущих якостей особистості, психологічна готовність до професійної діяльності та здатність ефективно виконувати професійні функції [10]
Формування професійної компетентності майбутніх економістів	І. Власюк, Л. Кайдалова, Н. Перевознюк, Г. Тимошук, К. Хоружий, Т. Столяренко, В. Пономаренко, О. Максимова, Л. Харитонова [3].	Досліджено різні підходи до формування професійної компетентності фахівців економічного профілю, зокрема професійно-термінологічної компетентності, реалізації компетентнісного підходу та розвитку професійних умінь майбутніх економістів

Аналіз наукових підходів підтверджує актуальність використання цифрових технологій і геометричного моделювання

математичних об'єктів для розвитку професійної компетентності майбутніх фахівців, зокрема економічного профілю. Особливе значення у підготовці студентів економічних спеціальностей має математична підготовка, яка сприяє розвитку логічного, аналітичного й алгоритмічного мислення, формує вміння аналізувати економічні процеси та працювати з кількісними показниками.

Важливе місце у структурі математичної підготовки посідає вивчення числових рядів та їх цифрове моделювання. Використання цифрових інструментів у процесі їхнього дослідження дає змогу автоматизувати обчислення, візуалізувати результати, розвивати навички математичного моделювання й аналізу економічних закономірностей, а також створювати практикоорієнтоване освітнє середовище.

Під час вивчення вищої математики доцільно застосовувати табличні процесори, математичні онлайн-середовища, системи комп'ютерної математики та засоби цифрової візуалізації, що сприяє розвитку цифрової компетентності, дослідницьких умінь, критичного мислення та встановленню міждисциплінарних зв'язків між математикою, економікою й інформаційними технологіями.

Для ілюстрації практичного застосування цифрового моделювання числових рядів у професійній підготовці майбутніх економістів доцільно використовувати задачі економічного змісту, пов'язані з аналізом прибутку, динаміки витрат, прогнозуванням доходів або моделюванням економічних показників.

Фабула задачі. Геометричну інтерпретацію ряду подано на рисунку 1. Модель можна трактувати як умовну економічну систему зі спадною динамікою ресурсів або витрат. У середині правильних трикутників зі сторонами 2; 1,6; 1,2; 0,8; 0,4 розміщено трипелюсткові математичні троянди, задані рівнянням $\rho = \sin(3\varphi)$. Кожний наступний трикутник має сторону, меншу на 0,4 одиниці, та розташований на стороні попереднього, утворюючи вкладену конструкцію.

Необхідно:

1. Скласти числові ряди;
2. Дослідити їх на збіжність;
3. Знайти суми рядів;
4. Побудувати графіки залежності частинних сум від кількості доданків для:
 - а) довжин сторін трикутників;
 - б) периметрів трикутників;
 - в) площ трикутників;
 - г) довжин математичних троянд;
 - д) площ математичних троянд.

Побудову трипелюсткової троянди, заданої рівнянням $\rho = \sin(3\varphi)$, виконано у середовищі GeoGebra в полярній системі координат із використанням команди Curve, що забезпечило точне відтворення та плавність кривої. Значення параметра $n = 3$ визначає наявність трьох симетрично розташованих пелюсток під кутами 120° , завдяки чому форма кривої узгоджується із симетрією правильного трикутника. Для підвищення наочності моделі додатково налаштовано кольорове оформлення та товщину ліній.

Створену модель імпортовано до Paint 3D, де реалізовано масштабування та послідовне розміщення троянд у системі вкладених трикутників меншого розміру. У результаті сформовано візуальну інтерпретацію числового ряду, у якій поступове зменшення геометричних параметрів відповідає спадному характеру членів послідовності. Обчислення довжин, периметрів і площ виконано за допомогою онлайн-сервісів математичних обчислень, а дослідження частинних сум і аналіз збіжності – у середовищі Microsoft Excel.

Результати обчислень можуть бути представлені у вигляді таблиць, графіків (рис. 1–6) та цифрових моделей, створених за допомогою сучасних програмних засобів (таблиця 2).

Таблиця 2

Результати дослідження ряду трипелюсткової троянди

Характеристика		
Довжина початкової фігури	сторона трикутника	2
	периметр трикутника	6
	кривої, що описує троянду	2,4221
Площа початкової фігури	$S_{\text{трикутника}}$	$\sqrt{3}$
	$S_{\text{троянди}}$	$\frac{\pi}{12}$
Сигма-модель ряду довжин	сторін трикутників	$\sum_{n=1}^5 (2,4 - 0,4n)$
	периметрів трикутників	$\sum_{n=1}^5 (7,2 - 1,2n)$
	кривих, що описують троянди	$\sum_{n=1}^5 2,4221(1,2 - 0,2n)$
Сигма-модель ряду площ	трикутників	$\sum_{n=1}^5 \left(\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot (2 - 0,4(n - 1))^2 \right)$

Характеристика		
	троянд	$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{6-n}{5}\right)^2$
Сума ряду довжин	сторін трикутників	6
	периметрів трикутників	18
	кривих, що описують троянди	7,2663
Сума ряду площ	трикутників	$2,2\sqrt{3}$
	троянд	$\frac{11\pi}{20}$
Збіжність / розбіжність		Збіжні
Рівень складності задач		I (1), II (2, 3), III (4, 5)

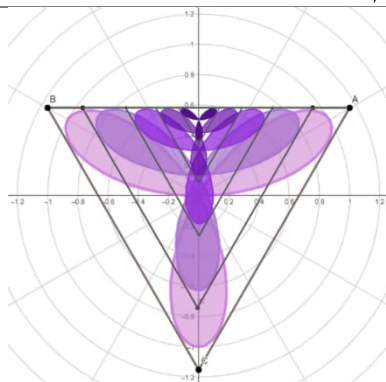


Рис. 1. Геометрична інтерпретація ряду

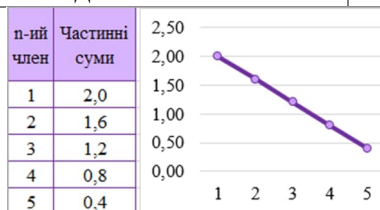


Рис. 2. Графік залежності частинних сум ряду сторін правильних трикутників від кількості доданків

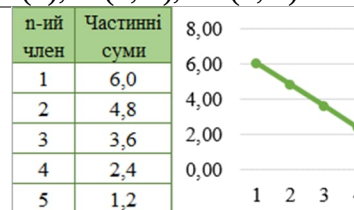


Рис. 3. Графік залежності частинних сум ряду периметрів правильних трикутників від кількості доданків

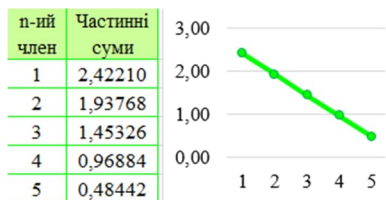


Рис. 4. Графік залежності частинних сум ряду довжин троянд від кількості доданків

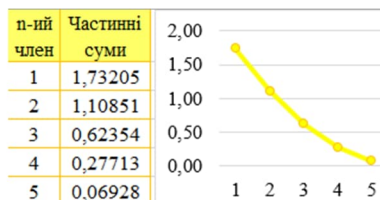


Рис. 5. Графік залежності частинних сум ряду площ правильних трикутників від кількості доданків

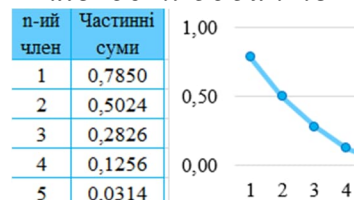


Рис. 6. Графік залежності частинних сум ряду площ троянд від кількості доданків

Отже, використання цифрового моделювання числових рядів у процесі вивчення математичних дисциплін підвищує ефективність професійної підготовки майбутніх економістів, сприяє розвитку аналітичного мислення, цифрової компетентності та навичок математичного моделювання. Використання засобів цифрової візуалізації забезпечує практичну спрямованість навчання, активізує пізнавальну діяльність студентів і формує готовність до професійної діяльності в умовах цифрової економіки.

Список використаних джерел

1. Гончарова, О. Н. (2008). Система формування інформатичних компетенцій у майбутніх економістів. *Учені записки Тавричного національного університету ім. В. І. Вернадського*, 21(60), 1.
2. Грудинін, Б. (2015). Компетентнісний підхід: сутність висхідних понять та положень. *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*, 7(2), 140–146.
3. Копняк, К. В. (2016). Сутність та структура професійної компетентності майбутніх економістів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, 45, 245–249.
4. Лов'янова, І. В. (2011). Компетентнісний підхід до формування професійних якостей особистості. У *Інноваційні технології в освіті: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в освіті»*. <http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/0564/2332>
5. Manzhos, E. (2019). Формування професійної компетенції майбутніх економістів у процесі вивчення іноземної мови. *European Humanities Studies: State and Society*, 1(I), 118–129.
6. Nychkalo, N. H., Gurevych, R. S., Kademiia, M. Y., Kobysia, A. P., Kobysia, V. M., & Hordiichuk, H. B. (2021). Формування фахової компетентності майбутніх педагогів професійного навчання в умовах дуальної освіти засобами комп'ютерно орієнтованих технологій. *Information Technologies and Learning Tools*, 85(5), 189–205.
7. Овчарук, О. В. (2009). Компетентнісний підхід в освіті: загальноєвропейські підходи. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 5(13), 1–12.
8. Римар, А. І. (2025). Використання ІКТ до візуалізації числових рядів на прикладі математичних троянд. *Актуальні питання природничо-математичної освіти: збірник наукових праць*, 2(26), 159–169.
9. Римар, А. І., & Корольський, В. В. (2023). Геометрична інтерпретація числових рядів, пов'язаних з рослинами-символами України. *Актуальні питання природничо-математичної освіти: збірник наукових праць*, 1(21), 70–77.
10. Співачук, В., Іконнікова, М., Петльована, Л., & Гурська, А. (2026). Формування професійної компетенції студентів-економістів у процесі вивчення іноземної мови. *Суспільство та національні інтереси*, 1(21), 172–180.

Сергій ЗИБІН

доктор технічних наук, професор
(orcid.org/0000-0002-2670-2823)

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
м. Київ, Україна

Вадим КОЧМАР

студент

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
м. Київ, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ ГІБРИДНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ФІНАНСОВИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АКТИВІВ

Фінансовий сектор сьогодні стрімко переходить у цифру, і мобільний застосунок став чи не головним способом, у який людина дістається до банкінгу, інвестицій чи обліку власних активів. Вимоги до таких систем суперечать одна одній. З одного боку – швидкодія, надійність, безпечна робота з конфіденційними даними. З іншого – фінтех-стартап майже завжди обмежений у ресурсах і змушений випускати продукт швидко, та ще й одразу на кількох платформах. Узгодити ці дві сторони можна лише через виважений вибір методів і засобів розробки. Власне, це й робить тему актуальною.

Вибір підходу до кросплатформної розробки розбирали вже не раз. У роботах [1; 2] зазначено, що нативна розробка дає найвищу продуктивність, але платити за це доводиться окремими кодовими базами під кожен платформу, а отже й пропорційно більшими витратами. Автори [3] запропонували систему критеріїв для оцінки кросплатформних підходів – і саме на цих критеріях видно компромісну природу гібридних рішень. При цьому емпіричні заміри [1] показують, що гібридні застосунки цілком тримають планку швидкодії для більшості бізнес-задач і відстають від нативних хіба що там, де багато важкої графіки. А ось як гібридний підхід поводить себе саме у фінтех-системах контролю активів – де левову частку роботи складають обробка й візуалізація структурованих даних – описано поки що скуппо. Цей пробіл і хотілося закрити.

Гібридний застосунок – це програмна система, яка будує бізнеслогіку та інтерфейс на веб-стеку, але живе всередині нативного

контейнера й дістається до системних ресурсів через стандартні API. Для фінтеху в такому підході є відчутна вигода: одна кодова база здешевлює володіння системою загалом, оновлення виконуються одразу на всі платформи, а модульна будова не заважає рости.

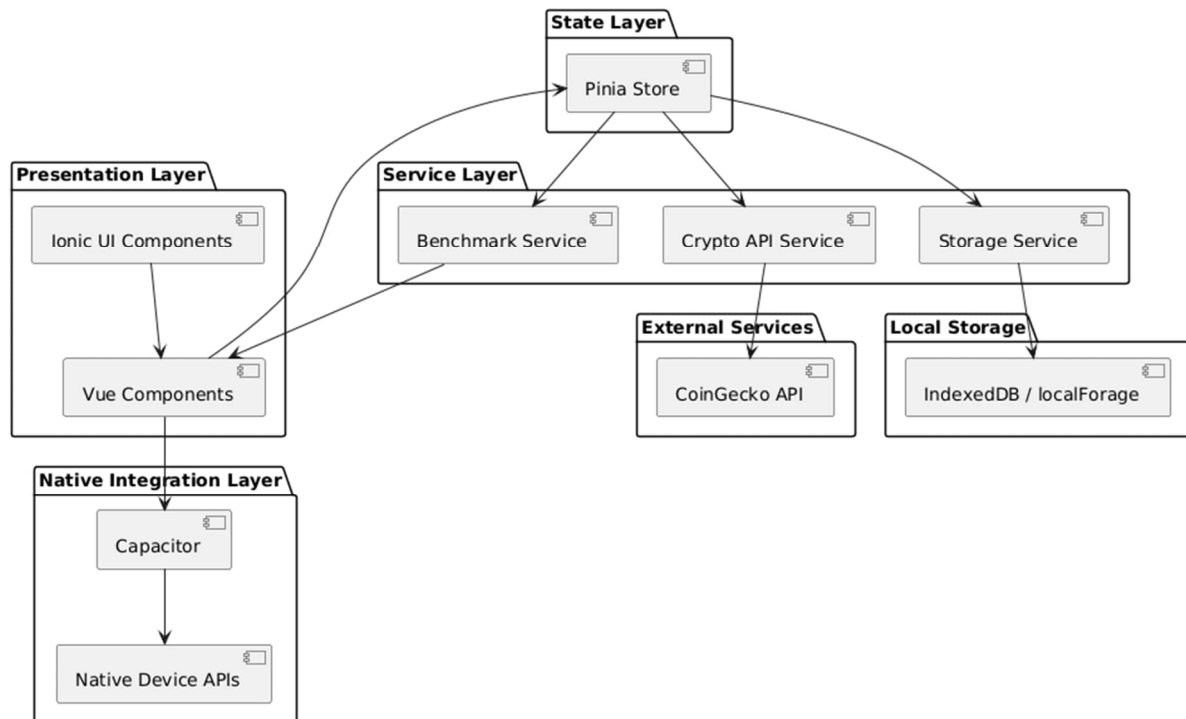


Рис. 1. Архітектура застосунку

Для формалізованого вибору технологічного стеку у дослідженні застосовано систему критеріїв: продуктивність, масштабованість, складність розробки, зрілість та популярність екосистеми та можливості інтеграції з нативними API. За результатами порівняльного аналізу бібліотек і фреймворків (React, Angular, Vue, Ionic, React Native) обрано стек Ionic Framework, Vue 3, TypeScript та Capacitor. Vue 3 забезпечує реактивну компонентну модель і знижений поріг входження, TypeScript підвищує надійність коду завдяки статичній типізації; Ionic надає мобільно-орієнтовані UI-компоненти, Capacitor реалізує доступ до нативних API. Для управління станом використано Pinia, для локального кешування – localForage поверх IndexedDB, для аналітичної візуалізації – Chart.js.

Архітектуру системи (рис. 1) побудовано за багаторівневим принципом із виокремленням рівнів представлення, стану, сервісів, локального сховища та нативної інтеграції, що відповідає принципам модульності та інкапсуляції й мінімізує зв'язаність компонентів.

Щоб перевірити підхід на практиці, було зібрано гібридний застосунок для контролю криптоактивів і вбудовано у нього модуль бенчмаркінгу. Час операцій знімався через Performance API на синтетичних наборах у 100, 500, 1000 і 5000 елементів; кожен сценарій запускався по кілька разів, а результат усереднювався. Зовнішні API-запити свідомо лишались поза основними замірами, так як мережа мала затримки зі свого боку.

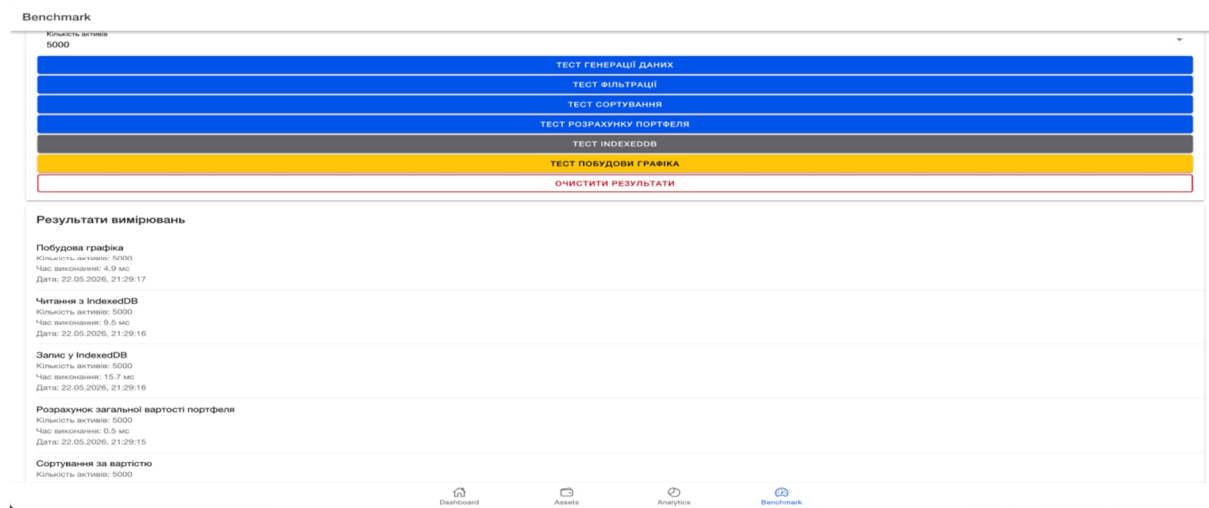


Рис. 2. Проведення тестування продуктивності

Найцікавіше видно на найбільшому наборі – 5000 активів. Генерація даних – 1,5 мс, фільтрація – лише 0,5 мс, сортування за вартістю позиції – 2,2 мс. Тобто навіть на п'яти тисячах елементів суто обчислювальна частина вкладається в одиниці мілісекунд і для користувача просто непомітна. Звідси можемо зробити висновок, що рушій JavaScript добре впорається з масивами, і вузьке місце не тут.

Інша картина – із локальним сховищем. Запис тих самих 5000 елементів у IndexedDB через localForage зайняв 13 мс, тобто приблизно у 8–9 разів довше за сортування й майже на порядок повільніше за фільтрацію. Причина – асинхронна природа IndexedDB та необхідність взаємодії з внутрішніми структурами браузера. Саме операції зі сховищем, а не обчислення, формують основне навантаження. Окремо помітним джерелом затримок виявилася побудова графіків зі значною кількістю точок через рендеринг на canvas.

Експериментально встановлено, що обчислювальні операції гібридного застосунку (генерація, фільтрація, сортування) виконуються за одиниці мілісекунд навіть за 5000 елементів, тоді як запис у локальне сховище IndexedDB (13 мс) та графічна візуалізація є на порядок повільнішими й формують основні лімітуючі фактори продуктивності.

Список використаних джерел

1. Mezzetti E., Pompilio C., Stankovic J. Performance Evaluation of Hybrid Mobile Applications. *Journal of Systems and Software*. 2018. Vol. 137. P. 120–134.
2. Charland A., Leroux B. Mobile Application Development: Web vs. Native. *Communications of the ACM*. 2011. Vol. 54, No. 5. P. 49–53.
3. Heitkotter H., Hanschke S., Majchrzak T. A. Evaluating Cross-Platform Development Approaches for Mobile Applications. *Web Information Systems and Technologies (WEBIST)*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. P. 120–138.
4. Willocx M., Vossaert J., Naessens V. A Quantitative Assessment of Performance in Mobile App Development Tools. *Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Services*, 2015. P. 454–461.
5. Vue Team. *Vue.js Guide and API Documentation*. Retrieved from <https://vuejs.org/>

Valentyna PLESKACH

Doctor of Sciences in Economics, Professor
(orcid.org/0000-0003-0552-0972)

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Mykyta PALAMARCHUK

Student

(orcid.org/0009-0007-3789-414X)

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

TOOLS FOR DEVELOPING A WEB-BASED INFORMATION SYSTEM FOR TRAINING PROCESS MANAGEMENT

Digital technologies have found their way into the sphere of sport and physical culture so deeply over the past fifteen years that a separate class of products has emerged: web-oriented information systems that accompany the training cycle. Industry analytics estimate that by 2024 the worldwide market for mobile and web-based fitness software had grown beyond nine billion US dollars, served roughly 850 million regular users and continued to expand at an annual rate exceeding 17%. Development of

models of information flows among the stakeholders of preparation is presented in the works of J. Ranaweera [1].

Despite this intense commercial activity, the existing pool of solutions reveals a series of fundamental shortcomings that diminish their applicability whenever a coach attempts to manage training in a systematic manner across several disciplines at once.

The first shortcoming is the rigid specialization of every popular product around a particular family of activities. Strength-oriented logging tools such as Strong, Hevy or FitNotes assume the «load $\times$ repetitions» paradigm and cope poorly with cyclic disciplines, where distance, pace and elapsed time matter more.

Similarly, popular cyclic-sport platforms – Strava, Garmin Connect, Polar Flow – do not fit strength or functional workouts. Integrated enterprise platforms such as Smartabase, Kitman Labs or AMS Hub partially address the problem, yet they remain proprietary, priced for national federations and elite clubs, and therefore largely out of reach for personal trainers, small fitness studios and educational institutions. A second weakness is the absence of any clean extension mechanism. When a new family of exercises with its own parameter set appears in practice – isometric holds, swimming intervals, hybrid formats – the conventional design forces a database migration, modifications in the server-side business logic and a redesign of the front end. For a small engineering team this turns the cost of adapting a system to a specific discipline into something close to prohibitive. The third weakness shows up in the analytical layer. In the mass-market segment the analytical functionality rarely extends beyond descriptive statistics – totals over a period, simple averages, a few graphs. Predictive components, capable of telling a coach what to expect from an athlete in the immediate future, are practically absent from open products. Meanwhile, the theory of motor-skill formation already supplies a workable apparatus for describing the dynamics of progress, in particular the so-called power law of learning, which has accumulated solid empirical support across a broad spectrum of motor and cognitive tasks and lends itself well to adaptation for forecasting training load.

The absence of harmonized information systems leads to fragmentation of data, duplication of efforts, and the loss of critical information during communication among specialists [1].

Taken together, these observations argue for a flexible web-oriented platform that handles different kinds of activities through a unified data schema and offers a built-in predictive component. The work reported here is devoted to such a platform.

Physically the developed platform consists of three independent processes that talk to one another over standardised protocols (Fig. 1). At

the front end runs a single-page application written in React 18.3, packaged by Vite 5.4, with Zustand 5.0 used for in-memory state and the pair react-chartjs-2 5.3 / Chart.js 4.5 used for analytical visualisations. The middle tier is an HTTP service implemented on top of Node.js 22 LTS using the Express 4.19 framework. Persistent storage is provided by an instance of PostgreSQL 16, accessed by way of the Prisma 7.8 object-relational mapper through its pg adapter. The SPA + REST style was preferred because the central usage scenario – logging a workout with sequential transitions between sets and rest timers – is strongly interactive in nature, and because the temporary state of an active session is most naturally maintained in the browser.

Three-Layer Architecture of the Implemented System

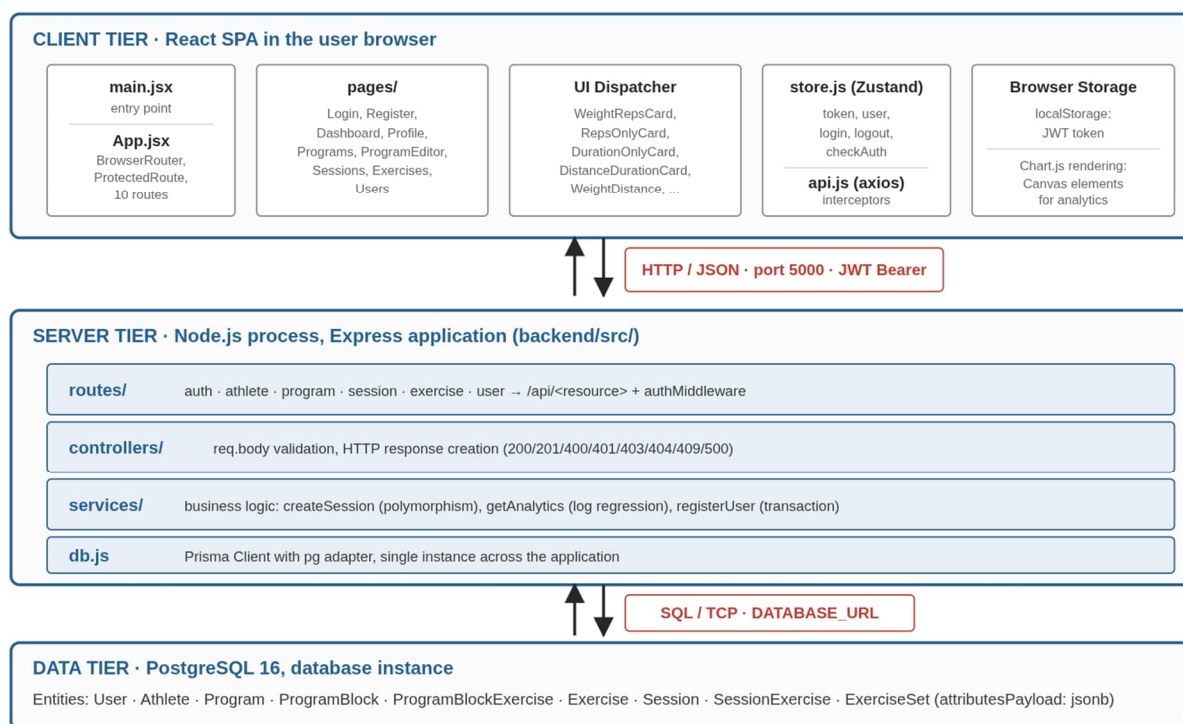


Fig. 1. Three-tier architecture of the developed system

Each component of this stack was selected through pairwise comparison against the explicitly stated functional and non-functional requirements. React was preferred to Angular, Vue.js and Svelte because of the size of its ecosystem, the suitability of its hook-based functional components for implementing a UI dispatcher over heterogeneous exercise types, and a conservative release policy that limits the risk of premature obsolescence. Vite, with its ESM-native development mode and hot module replacement, proved a better fit than Webpack or Parcel. Zustand

was chosen over Redux Toolkit and MobX for the minimal amount of boilerplate it imposes and for the ease with which it persists state to localStorage. Chart.js together with the declarative react-chartjs-2 wrapper was preferred to D3.js and Plotly.js because it ships ready-made chart types and supports overlaying forecasted series on top of historical observations on a shared axis. On the server side, Node.js was chosen over Python, Java and Go in order to keep a single language across both tiers and because the workload is dominated by I/O rather than computation; Express prevailed against Fastify, Koa and NestJS thanks to its maturity and the breadth of its middleware ecosystem. PostgreSQL was preferred to MySQL and SQL Server primarily for its native jsonb type with GIN-indexing support – a feature on which the polymorphic data model directly depends. Prisma, in turn, was preferred to Sequelize and TypeORM for treating the declarative schema as a single source of truth and for the convenience with which its native Json type lets the embedded payload be read and written as an standard JavaScript object.

Within the server tier the source code is split into four cooperating layers in the chain routes → controllers → services → ORM. The route layer comprises six grouped files – one per resource (authentication, users, athletes, programs, sessions, exercises); on any protected endpoint the first middleware that runs is the JWT verifier (HMAC-SHA256, jsonwebtoken 9). Controllers are responsible for extracting incoming parameters from the request, performing the initial validation and constructing a JSON response with an appropriate status code (200, 201, 400, 401, 403, 404, 409, 500); they intentionally hold no business logic. Domain logic resides in the service layer: cascaded persistence of a session together with its nested exercises and sets inside a single transaction, computation of training analytics, the joint creation of a User record together with its accompanying Athlete profile, and so on. Finally, the ORM layer exposes a single, application-wide Prisma client configured with the pg adapter and a managed connection pool. This deliberate separation pays off as the code base evolves: alterations of the HTTP contract touch only the upper two layers, while changes to the storage scheme remain isolated within the ORM layer, leaving the services intact.

The defining design problem of the platform is the need to accommodate genuinely heterogeneous categories of training activity inside one model. Several naïve alternatives have to be ruled out. Maintaining a dedicated table per activity type leads to combinatorial bloat of the schema and turns the addition of a new exercise type into an expensive operation. A single «flat» table that anticipates every possible attribute results in sparse NULL values and clouds the meaning of the

records. A purely document-oriented store sacrifices referential integrity and the joins on which the rest of the application relies. The proposed solution (Fig. 2) is a hybrid that fuses three ideas: (a) a fixed enumeration of exercise archetypes at the database level; (b) a polymorphic jsonb column attributesPayload that holds those attributes which depend on the archetype of the given set; (c) a dispatcher on the client side which inspects an exercise’s archetype and mounts the appropriate input form.

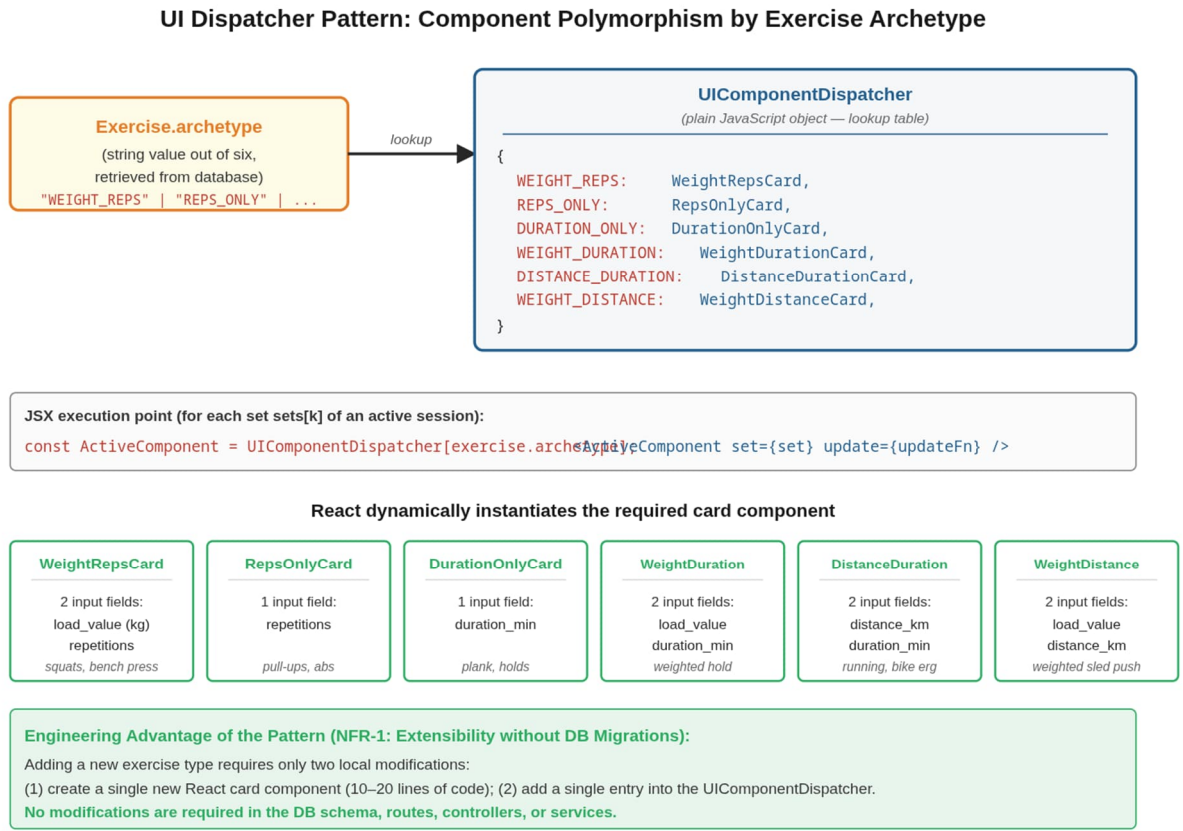


Fig. 2. Polymorphic data model for heterogeneous training indicators

The hybrid keeps the relational invariants for User, Athlete, Program, Session and ExerciseSet, while at the same time allowing the system to be extended by additional exercise types without any migration of the database schema. At the moment the platform recognises six archetypes: strength exercises performed with a fixed number of repetitions; bodyweight repetition-based exercises; duration-based exercises without load; duration-based exercises with added load; distance-based exercises with timing; and distance-based exercises with added load. Between them these six categories cover the overwhelming majority of training activity encountered in strength, cyclic and combined disciplines. Adding a seventh archetype requires merely two trivial edits: a new enumeration value and a

new React component registered in the client-side dispatcher – no change in server-side business logic, no schema migration.

Differentiation of user privileges relies on a role-based access-control scheme with three roles – admin, coach and athlete. This reproduces the four-element stakeholder typology of Burger and co-authors[2] with the administrative and medical roles collapsed into one. The current role is kept as a string field of the User record, and authorisation checks are arranged in three successive stages: the middleware at the HTTP boundary verifies the JWT and attaches the resolved user object to the request; the controller layer dispatches to the appropriate service method on the basis of the role; the service layer in turn applies query-level filtering so that an athlete sees only personally owned records while a coach is granted visibility over all assigned athletes.

Stateless authentication via signed JWT tokens removes the need for a server-resident session store and fits the REST style naturally; passwords are persisted as bcrypt hashes with adaptive cost, while the usual classes of web vulnerabilities are mitigated by parameterised queries supplied through the ORM, a properly configured cross-origin policy and exhaustive input validation on the server.

On the front end, the React project is laid out as a set of feature folders – authentication, athletes, programs, sessions, analytics – each containing the corresponding pages, hook-based wrappers around axios calls and the presentational components themselves. The Zustand store concentrates the genuinely global state: the authenticated user, the JWT and the currently active training session. The last of these is what makes the principal workout-logging scenario feasible without round-trips to the server during transitions between sets and timers. Navigation is handled by react-router-dom 7.15 with a thin route-guard wrapper that redirects unauthenticated visitors to the login page and hides coach-only views from athletes. Form management depends on react-hook-form 7.75, whose strategy of keeping the input state outside the React render tree spares the interface unnecessary re-renders during heavy editing.

The analytical subsystem is centred on a short-horizon forecast of the dynamics of training load. After cumulative tonnage and cumulative distance are aggregated per training day, the result is a discrete sequence:

$$y_1, y_2, \dots, y_n,$$

where $y_i \in \mathbb{R}^+$ denotes the aggregated indicator for the i -th training day and $x_i = i$, ($i = 1, \dots, n$) is its ordinal number. The decision in favour of a logarithmic model rests on the power law of learning [3; 4] – the empirical

regularity according to which the time required to execute a task after N repetitions decays as a power function:

$$T(N) = \alpha \cdot N^{-\gamma} \quad (1)$$

The symmetric reformulation appropriate for a growing performance indicator yields the regression model:

$$y(x) = a + b \cdot \ln(x) + \varepsilon \quad (2)$$

Its parameters are obtained by ordinary least squares applied in logarithmic coordinates; a closed-form solution exists with linear time complexity $O(N)$ and constant memory consumption $O(1)$, so the fit can comfortably be carried out synchronously while servicing a single HTTP request (Fig. 3).

The prototype that was actually built was put through an experimental study along three lines. Functional verification used a matrix of 42 test cases covering the implemented scenarios in conjunction with the role-based access model, and produced a passing rate of 90.5%.

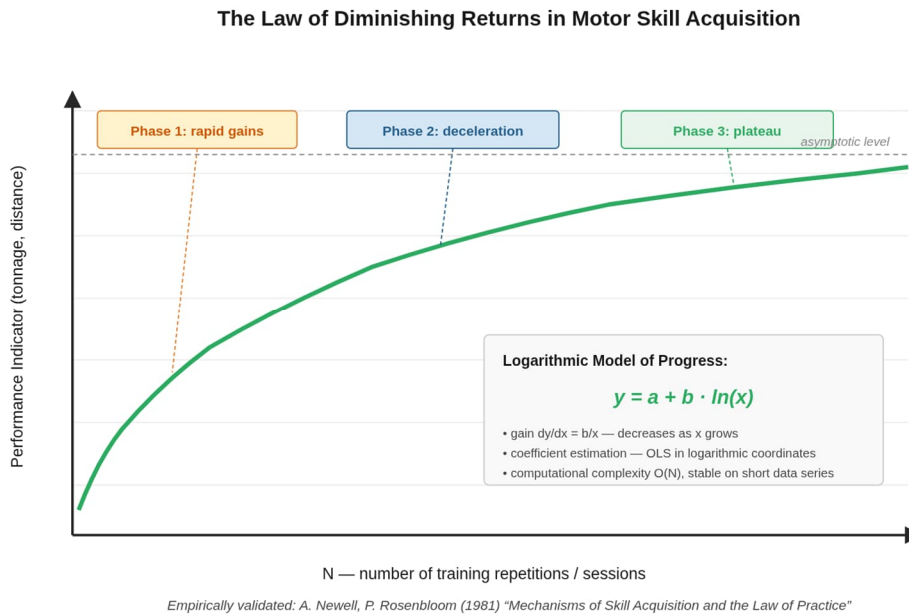


Fig. 3. Law of diminishing returns and logarithmic approximation of progress dynamics

Validation of the forecasting component proceeded on a synthetic dataset drawn from a known logarithmic ground truth corrupted by controlled noise; the model attained coefficients of determination R^2 in the band 0.85–0.99 and a mean absolute percentage error in the range 0.7–

5.7%, which together confirm the statistical adequacy of the implementation. The scalability run, executed by progressively enlarging the volume of stored sessions, established that the non-functional response-time requirement – a 95th-percentile latency below 500 ms – is satisfied with a comfortable 23-fold margin within the targeted operating range.

The platform described here makes it possible to supervise the training process in a systematic fashion across activities that would normally require separate single-purpose tools, while still sharing a unified data schema. Two technical results form the substance of the contribution. The first is a software approach to representing heterogeneous training indicators that fuses a discrete set of exercise archetypes with a polymorphic JSONB-based attribute column inside a relational table and a client-side dispatcher over the user-interface components; together they let the system absorb new exercise types without any database migration and with only minor edits on the client. The second is the use of a logarithmic regression model, derived from the power-law account of motor-skill formation, for short-horizon prediction of cumulative tonnage and cumulative distance; the model is solved analytically by least squares, which sidesteps the computational overhead that machine-learning alternatives would impose. The resulting prototype is positioned for use by personal coaches, by small and mid-sized fitness studios and by training groups at sports federations, and is naturally extensible along several directions: additional exercise archetypes, deeper diagnostic and prescriptive analytics, and connectivity with wearable devices.

References

1. Ranaweera, J., Weaving, D., Zanin, M., Roe, G. (2024). Athlete monitoring in professional team sports: A scoping review of current practices. *Journal of Sports Sciences*, 42(3), 211–228.
2. Burger, J., Esmonde, N., Kingsbury, T., Madison, J., Robertson, S. (2020). The use of athlete monitoring systems in elite sport: A systematic review. *Sports Medicine*, 50(7), 1281–1301.
3. Newell, A., Rosenbloom, P. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 1–55). Lawrence Erlbaum.
4. Heathcote, A., Brown, S., Mewhort, D. J. K. (2000). The power law repealed: The case for an exponential law of practice. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(2), 185–207.
5. Prisma. (2025). Prisma ORM documentation. URL: [https:// www.prisma.io/docs](https://www.prisma.io/docs) (date of access 12.04.2026).

6. State of JS. (2024). State of JavaScript 2024 Survey Results. URL: <https://stateofjs.com/> (date of access 18.04.2026).
7. PostgreSQL Global Development Group. (2025). PostgreSQL 16 Documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/16/> (date of access 12.04.2026).

Włodzimierz SAPUN

School of Business National Louis University
Nowy Sacz Poland

THE DIGITAL SHIFT: INFORMATION TECHNOLOGIES IN MODERN EDUCATION

The 21st century has witnessed an unprecedented integration of technology into every aspect of human life, and education is no exception. The traditional educational model, centered around physical classrooms and static curricula, is undergoing a profound structural evolution. This process, often referred to as the «digital shift,» involves the strategic deployment of information technologies (IT) to enhance pedagogical practices, administrative efficiency, and accessibility. The purpose of this paper is to evaluate the current state of IT in education, identify key driving forces, and analyze the socio-pedagogical implications of this transition.

Core Technological Drivers. The modern digital educational ecosystem is powered by several interconnected technological advancements [1, 2]:

1. Learning Management Systems (LMS): Platforms such as Moodle, Canvas, and Google Classroom have digitized administrative workflows, allowing seamless assignment distribution, grading, and communication.

2. Artificial Intelligence (AI): AI algorithms actively reshape the learning experience through adaptive learning pathways. By analyzing individual student performance metrics in real-time, AI can dynamically adjust the difficulty and format of content to optimize retention.

3. Immersive Technologies (VR/AR): Virtual and Augmented Reality tools bridge the gap between abstract theory and practical application. Immersive simulations allow students to conduct complex

laboratory experiments or explore historical artifacts in a risk-free, highly engaging environment.

Pedagogical Benefits and Outcomes. The data collected from modern educational institutions indicates that the implementation of IT significantly improves learning outcomes. The primary advantage is the personalization of education, shifting the paradigm from a rigid «one-size-fits-all» approach to a learner-centric model. Furthermore, the use of big data and analytics provides educators with early-warning systems to identify struggling students before they fail, allowing for timely academic intervention. Finally, gamification and interactive multimedia content substantially increase student engagement and intrinsic motivation.

Challenges and Limitations. Despite its overwhelming benefits, the digital shift introduces significant structural challenges that must be addressed:

- The Digital Divide: Socioeconomic disparities dictate unequal access to high-speed internet and advanced hardware, threatening to widen the educational equity gap between different regions and social classes.
- Digital Literacy Deficit: The rapid evolution of software often outpaces the professional training of educators, leading to underutilized IT.
- Data Privacy: The collection of extensive student data raises critical concerns regarding cybersecurity, compliance with data protection laws, and intellectual property.

The digital shift in education is a permanent, evolutionary transition rather than a temporary methodological trend. Information technologies possess the potential to democratize access to high-quality education globally. However, to maximize the efficacy of these tools, educational policymakers must prioritize narrowing the digital divide and supporting continuous professional development for teachers. Ultimately, technology should not aim to replace the human element of pedagogy, but rather to empower it.

References

1. Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285.
2. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1–27.

Роман ЯКОВЕНКО
провідний frontend-розробник
([orcid.org/ 0009-0006-2910-0103](https://orcid.org/0009-0006-2910-0103))
UniTalk Company
Краків, Польща

РОЛЬ СИСТЕМ ОРКЕСТРАЦІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Стрімке впровадження великих мовних моделей (Large Language Models, LLM) докорінно змінило архітектуру сучасних інтелектуальних систем, забезпечивши автоматизацію процесів аналізу даних, програмування та генерації контенту [1]. Водночас практичне використання таких моделей виявило, що їхня підсумкова продуктивність обмежена не лише обсягом внутрішніх параметрів, а й специфікою інфраструктурного оточення. Поточне покоління LLM має низку критичних архітектурних бар'єрів, серед яких фіксований стан знань на момент завершення навчання, обмежена місткість контекстного вікна запиту, а також відсутність нативного інструментарію збереження довготривалої пам'яті між окремими робочими сесіями. Окрім того, у процесі розроблення реальних веб-застосунків часто виникає проблема узгодження контексту між серверною оркестрацією та актуальним станом його frontend-частини, оскільки необхідно одночасно забезпечити актуальність даних, мінімізувати обсяг переданих запитів, уникнути розсинхронізації між етапами виконання багатокрокових сценаріїв та залишатися в межах контекстного вікна, щоб уникнути деградації якості відповіді моделі.

Це дослідження спрямоване на вивчення функціональних можливостей систем оркестрації як спеціалізованого проміжного програмного шару (middleware), призначеного для нівелювання базових обмежень LLM та оптимізації їхньої системної інтеграції. Методологічну основу роботи становить системний та описово-порівняльний аналіз сучасних підходів до проектування штучного інтелекту. Особливу увагу приділено технологіям генерації з розширенням пошуку (RAG), концепції автономних агентів та уніфікованим комунікаційним протоколам, зокрема Model Context Protocol.

У сучасних AI-інфраструктурах оркестратори виконують роль координаційного центру між кінцевим інтерфейсом, обчислювальною моделлю та ізольованими сховищами даних, керуючи контекстним навантаженням, маршрутизацією та викликами зовнішніх інстру-

ментів. Серед ключових напрямів архітектурної оптимізації виділяється технологія RAG (Retrieval-Augmented Generation). Вона дозволяє динамічно інтегрувати актуальні знання із зовнішніх репозиторіїв безпосередньо у промпт перед генерацією відповіді, що суттєво мінімізує ризик виникнення фактологічних помилок (галюцинацій) завдяки верифікації через надійні платформи [2]. Іншим перспективним вектором є побудова агентних систем, які трансформують LLM із пасивного генератора тексту на активного координатора процесів, здатного взаємодіяти з базами даних, API та файловими структурами за допомогою функціональних викликів (function calling) [3], створюючи складні багатокрокові алгоритми розв’язання задач [4]. Крім того, критично важливим етапом стає стандартизація цих процесів – використання Model Context Protocol (MCP) забезпечує створення безпечного, уніфікованого та масштабованого середовища для взаємодії мовних моделей із різнородинними зовнішніми джерелами інформації та інструментами розробки [5].

Для детальнішої оцінки ефективності розроблено порівняльну характеристику традиційного (ізолюваного) та керованого (оркестрованого) підходів до експлуатації мовних моделей (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння архітектурних підходів до використання LLM

Критерій	Ізолювана LLM	LLM із системою оркестрації
Актуальність знань	Обмежена після навчання	Доступ до актуальних даних (RAG, API)
Пам’ять	Відсутня довготривала пам’ять	Підтримка зовнішньої пам’яті
Інтеграція	Мінімальна	API, бази даних, сервіси
Виконання задач	Однокрокові відповіді	Багатокрокові агентні процеси
Гнучкість	Низька	Висока

Результати порівняння свідчать, що впровадження оркестраційного шару часто приносить помітніший приріст якості та стабільності роботи системи, аніж проста заміна базової моделі на потужнішу. Це підтверджує, що архітектура та управління системою в цілому є важливішими за параметри окремої моделі.

Таким чином, розвиток AI-рішень переходить від покращення самих моделей до оптимізації їхнього інфраструктурного оточення за допомогою оркестраторів. Поєднання RAG, агентного моделювання та крос-платформних протоколів інтеграції дозволяє трансформувати статичні мовні моделі в динамічні інструменти автоматизації. Подальша перспектива розвитку галузі залежатиме не лише від нарощування кількості параметрів нейромереж, а й від досконалості архітектурних рішень для їхньої практичної оркестрації.

Список використаних джерел

1. Anthropic. (2024). *Building effective agents*. URL: <https://www.anthropic.com/research/building-effective-agents> (дата звернення: 17.05.2026).
2. Anthropic. (n.d.). *Model Context Protocol documentation*. URL: <https://docs.anthropic.com> (дата звернення: 22.05.2026).
3. GitHub. (n.d.). *GitHub Copilot documentation*. URL: <https://docs.github.com/en/copilot> (дата звернення: 22.05.2026).
4. OpenAI. (n.d.-a). *Function calling guide*. URL: <https://platform.openai.com/docs/guides/function-calling> (дата звернення: 22.05.2026).
1. OpenAI. (n.d.-b). *OpenAI platform documentation*. URL: <https://platform.openai.com/docs> (дата звернення: 22.05.2026).

Тетяна ПІДГОРНА

доктор педагогічних наук, доцент
(orcid.org/0000-0002-1414-3489)

Державний торговельно-економічний університет
м. Київ, Україна

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК СКЛАДОВА ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ІТ-СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Імітаційне моделювання є одним з ефективних методів дослідження систем з складною структурою, про що свідчить значна кількість наукових публікацій. Однією з особливостей імітаційного моделювання є відтворення динаміки поведінки системи в часі. Інформаційні системи мають складну структуру, проєктування і реалізація яких є багатоетапним процесом. Однією з цілей, в процесі

проектування таких систем, є вибір оптимальної її структури. Дослідження функціонування таких систем складно здійснити на основі реальних об'єктів. Застосування імітаційного моделювання в процесі проектування структури і параметрів функціонування складних інформаційних систем є один з шляхів вирішення цієї проблеми.

Застосування технологій штучного інтелекту в імітаційному моделюванні втілюється в такий спектр задач: оптимізація параметрів моделей, інтелектуалізація агентів, прогнозування поведінки системи, адаптація моделей в часі на основі історичних даних.

Також, варто зазначати, що імітаційне моделювання інтегроване у нормативний зміст підготовки студентів ІТ-спеціальностей, про що зазначено у відповідних стандартах. Тут імітаційне моделювання визначається як один з об'єктів вивчення та як складова фахових компетентностей [1]. Імітаційне моделювання надає можливості сформувати базову систему знань, умінь, навичок, відповідні загальні і фахові компетентності щодо теоретичних основ та практичних аспектів імітаційного моделювання в майбутній професійній діяльності, а також розвитку умінь пошуку ефективних способів реалізації імітаційних моделей досліджуваних об'єктів, сприяє розвитку критичного, аналітичного, алгоритмічного та системного мислення.

Імітаційне моделювання, як освітня компонента, є складовою освітньо-професійних програм підготовки студентів різних спеціальностей, зазначимо деякі особливості імітаційного моделювання як освітньої компоненти саме для студентів ІТ-спеціальностей:

1. Міждисциплінарний характер змісту навчання, як з дисциплінами, що вже вивчались студентами (алгоритмізація і програмування, вища математика, теорія ймовірностей і математична статистика тощо), які вивчаються паралельно в одному семестрі (чисельні методи програмування), які буду вивчатися в майбутньому (штучний інтелект, машинне навчання, проектування інформаційних систем, технології великих даних тощо). Також варто зазначити, що існує велика кількість класичних моделей, об'єкт моделювання яких лежить поза межами змісту фахової підготовки студентів ІТ-спеціальностей, наприклад, модель розповсюдження вірусної інфекції, «хижак – жертва», «витрат – запасів» тощо.
2. Інструментальне забезпечення моделювання: саме для студентів ІТ-спеціальностей доцільно застосовувати не готові програмні рішення, а студенти повинні опанувати процес розробки такого забезпечення від реалізації алгоритмів до отримання надійних результатів моделювання.

3. Візуалізація результатів моделювання: студенти ІТ-спеціальностей повинні вміти візуалізувати дані від ілюстративного подання вхідних даних моделі до представлення інтуїтивно зрозумілого узагальнення результатів моделювання.

Враховуючи вище зазначене можна запропонувати такі теми для вивчення в межах дисципліни імітаційне моделювання: вступ до моделювання; імітаційне моделювання як метод дослідження систем; математичні основи імітаційного моделювання; дискретно-подієве моделювання; системна динаміка; агентне моделювання; експерименти на основі імітаційних моделей; імітаційне моделювання в комп'ютерних науках; імітаційне моделювання біологічних систем; соціально-економічні імітаційні моделі; застосування технологій штучного інтелекту в імітаційному моделюванні; застосування великих даних в імітаційному моделюванні; гібридне імітаційне моделювання; сучасні тенденції розвитку імітаційного моделювання.

Як засіб моделювання можна використовувати мову програмування Python з відповідними бібліотеками (SimPy, Mesa, підпакет SciPy.integrate та інші).

Реалізація імітації функціонування складних інформаційних систем та різноманітних ІТ-процесів в процесі вивчення імітаційного моделювання є підґрунтям не тільки для опанування методів і засобів імітаційного моделювання, а також сприяє більш глибокому розумінню особливостей функціонування сучасних ІТ-технологій, розвитку аналітичного і системного мислення, прийняттю обґрунтованих рішень та адаптації до змінних умов праці в сфері інформаційних технологій.

Список використаних джерел

1. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Державний стандарт вищої освіти, затверджений Наказом МОН № 962 (2019) (Україна). <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/122-kompyut.nauk.bakalavr-1.pdf>.

Максим ХОМЕНКО

аспірант

(orcid.org/0009-0008-4239-1448)

Черкаський національний університет

імені Богдана Хмельницького

м. Черкаси, Україна

АДАПТИВНІСТЬ ГІБРИДНОЇ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ ДО МІКРОСТРУКТУРИ ФІНАНСОВИХ РИНКІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ BTC-USD, ЗОЛОТА Й НАФТИ

Десятиріччя 2015–2025 рр. вмістило кілька великих шоківих подій: пандемію COVID-19, повномасштабне вторгнення Росії в Україну, банківську кризу 2023 р. та чергову хвилю тарифних війн. На кожен з них криптовалюти, золото й нафта реагували по-різному і за амплітудою, і за знаком руху ціни. Цю розбіжність важко пояснити в межах моделей, що припускають однорідну поведінку ринків; вона впливає з різного складу учасників та ступеня інституціоналізації кожного сегменту. Більш складні нейромережеві архітектури також не дають готової відповіді: без диференціації за активом мережа або перенавчається, або не справляється з інформаційним шумом. В актуальних дослідженнях гібридні моделі для прогнозу волатильності розглядаються у кількох розрізах. Для валютних ринків перевагу гібриду GARCH-LSTM над «чистими» рекурентними мережами підтверджено на матеріалі країн Африки [1], для криптовалютного ринку – багатовимірними варіантами Bi-LSTM на Bitcoin [2] та через мультифрактальний аналіз цінової динаміки [3]. Окремий напрям – підключення великих мовних моделей: як інструмент вилучення настрою з новин [4] та як основа агентного моделювання з LLM-агентами [5]. Для сегменту захисних та сировинних активів актуальні огляди уточнюють safe-haven статус золота [6] і оновлюють класифікацію нафтових шоків [7].

Тривимірну архітектуру синтезу – з одночасною обробкою часового ряду, новинного настрою та поведінкового сигналу з агентної моделі – автор обґрунтував раніше [8]. У цій роботі ми перевіряємо, як вона веде себе на трьох різних за мікроструктурою активах (BTC-USD, ф'ючерс на золото $GC=F$, ф'ючерс на нафту $CL=F$), і з'ясовуємо, які саме її компоненти реально працюють для кожного з них. Формально архітектура має вигляд:

$$Y_t = f(TS_t, Sent_t, Beh_t; \theta) \quad (1)$$

де TS_t – представлення часового ряду, отримане з *LSTM-GARCH*; $Sent_t$ – індекс новинного настрою з експоненційним згасанням пам’яті щодо геополітичних подій; Beh_t – вектор поведінкових ознак з агентної симуляції; $f(\cdot)$ – Fusion Layer (повнозв’язний підмодуль, що поєднує три потоки); θ – параметри, що навчаються.

Вихідні ряди – щоденні логарифмічні прибутковості за період 01.09.2015 – 01.06.2025, розбиті у хронологічному порядку: 70 % на навчання, 15 % на валідацію та 15 % на тест. Цільова змінна – 7-денна реалізована волатильність RV_{t+1} . У таблиці 1 наведено метрики моделей на тестовій вибірці (коефіцієнт детермінації R^2 та зміна середньоквадратичної похибки прогнозу MSE) разом із результатами ablation: показано, як змінюється MSE, коли з повної архітектури по черзі видаляють LSTM-каркас (NO_LSTM) та настрой-рівень (NO_SENT).

Таблиця 1

Порівняльна продуктивність моделей та внесок компонентів гібридної архітектури на тестовій вибірці

Актив	GARCH (R^2)	LSTM-GARCH (R^2)	Hybrid (R^2)	Δ MSE при NO_SENT, %	Δ MSE при NO_LSTM, %
BTC-USD	0,378	0,719	0,716	+7,3	+413,1
GC=F (золото)	0,459	0,749	0,747	+0,2	+188,6
CL=F (нафта)	0,454	0,641	0,636	-1,6	+366,6

Аналіз таблиці свідчить про три ключові закономірності. Перша – повна гібридна архітектура працює стабільно краще за базовий GARCH на всіх трьох активах: R^2 зростає з 0,378 до 0,716 для BTC-USD, з 0,459 до 0,747 для золота і з 0,454 до 0,636 для нафти. Це достатньо передбачуваний результат. Друга – без LSTM-каркасу архітектура суттєво втрачає якість на всіх активах: MSE зростає у 2–5 разів (від +188,6 % для золота до +413,1 % для BTC-USD). Саме рекурентний компонент несе основне навантаження щодо виявлення довгої пам’яті та кластеризації волатильності. Третя закономірність

менш очевидна: ефект від видалення сентименту відрізняється у рази між активами. Для BTC-USD сентимент додає 7,3 % точності, для золота – практично нічого (+0,2 %), а на нафті його видалення навіть трохи покращує MSE (–1,6 %).

Пояснення полягає у різній мікроструктурі ринків. На крипто-валютному ринку велика частка роздрібних інвесторів, для яких новини часто є першоджерелом сигналу, – і сентимент-індекс тут дійсно додає інформації. На ринках золота й нафти переважають інституційні гравці; новинний фон закладається у ціну швидко, його ефект встигає осісти у самій структурі ряду – і його повністю «вичитує» LSTM, тому окремий сентимент-канал стає надлишковим. Опосередковано це підтверджується і розподілом градієнтної важливості Fusion Layer по перцептивному рівню: 0,26 для BTC, 0,28 для золота, 0,22 для нафти – фактично однакові значення, тоді як приріст якості від цього компонента кардинально різний.

Рисунок 1 відображає динаміку трьох активів та ідентифікованих геополітичних шок-подій. Обчислювальний експеримент реалізовано мовою Python 3.10 з використанням PyTorch, arch, yfinance, numpy/pandas/scipy, scikit-learn та matplotlib. Агентно-орієнтовану модель реалізовано на векторизованому ядрі numpy.

На рис.1. подано нормалізовані логарифмічні ціни (база – вересень 2015 р. = 100) у вигляді трьох панелей: BTC-USD, ф'ючерс на золото (GC=F) та ф'ючерс на нафту (CL=F). Вісім вертикальних маркерів відповідають ключовим подіям зазначеного періоду: 1 – Brexit; 2 – обвал ринків на тлі COVID-19; 3 – оголошення безпрецедентних монетарних стимулів ФРС; 4 – повномасштабне вторгнення Російської Федерації в Україну; 5 – крах банку Silicon Valley Bank; 6 – напад ХАМАС на Ізраїль; 7 – перемога Д. Трамп на президентських виборах у США; 8 – ескалація тарифної війни між США та КНР. Колір маркера відображає напрям реакції активу: зелений – підвищення ціни, червоний – зниження, сірий – нейтральна реакція.

Рисунок 1 ілюструє асиметрію реакцій трьох активів на ідентифіковані шок-події.

Подія 1 (23.06.2016) – референдум про Brexit. Перший результативний референдум про вихід країни-члена з ЄС; структурний перегляд очікувань щодо торговельних ланцюгів. BTC та золото – нейтральна реакція; нафта – короткострокове зниження на тлі переоцінки попиту з боку Великої Британії.

Подія 2 (12.03.2020) – обвал ринків на тлі COVID-19. Глобальний lockdown і класичний liquidity event: продаж усіх активів

зادля отримання готівки. Синхронне падіння всіх трьох активів на ~30–60 % за два тижні; нафта зазнала найглибшої корекції через колапс попиту.



Рис. 1. Нормалізовані логарифмічні ціни BTC-USD, золота (GC=F) та нафти (CL=F) за 2015–2025 рр. та реакція трьох активів на спільні геополітичні шок-події

Подія 3 (23.03.2020) – оголошення монетарних стимулів ФРС. Старт необмеженого QE обсягом понад 2 трлн дол. США; точка інверсії очікувань щодо ліквідності та інфляції. BTC увійшов у багатомісячне зростання; золото оновило історичні максимуми; нафта відновлювалася повільніше через надлишок пропозиції.

Подія 4 (24.02.2022) – повномасштабне вторгнення РФ в Україну. Найбільший геополітичний шок у Європі з 1945 р.; одночасно risk-off для фінансів та supply shock для енергетики. Золото – висхідний імпульс (flight to safety); нафта – стрибок на ~30 % (supply shock); BTC – зниження на ~15 % у режимі risk-off.

Подія 5 (10.03.2023) – крах банку Silicon Valley Bank. Перше масштабне банкрутство банку США з 2008 р.; переоцінка ризиків регіональної банківської системи. Нафта – нульова реакція; BTC та золото – синхронне зростання на ~10–15 % як активи поза банківською системою.

Подія 6 (07.10.2023) – напад ХАМАС на Ізраїль. Нове вогнище нестабільності на Близькому Сході; потенційна ескалація у регіональний конфлікт за участю Ірану. Помірне зростання золота як safe-haven; нафта – обмежений висхідний рух; BTC – нейтральна реакція.

Подія 7 (06.11.2024) – перемога Д. Трампа на виборах у США. Структурна зміна політичного курсу: pro-crypto регуляторика, очікування м'якшої грошово-кредитної політики. Зростання ціни BTC на ~40 % за два тижні; помірне зростання золота на тлі інфляційних очікувань; нафта – без вираженої реакції.

Подія 8 (02.04.2025) – ескалація тарифної війни США та КНР. «Reciprocal tariffs»; шок зовнішньоторговельного режиму з прямим впливом на глобальні ланцюги постачання. Нафта – зниження через переоцінку промислового попиту з боку КНР; золото – зростання як хедж; BTC – корекція з подальшим відновленням.

Геополітичний шок однакової інтенсивності генерує різні цінові траєкторії залежно від мікроструктури активу, що додатково підтверджує доцільність архітектури з диференційованим Fusion Layer.

Отже, описана архітектура зберігає якість прогнозу на трьох різних за мікроструктурою активах – R^2 утримується у діапазоні 0,64–0,75 проти 0,38–0,46 у базового GARCH, – і при цьому самостійно регулює внесок окремих компонентів залежно від конкретного ринку. На наступному кроці її доцільно перевірити на українських ринках – парі USD/UAH та сегменті облігацій внутрішньої державної позики (ОВДП), де структура учасників і характер реакції на новини у воєнний час потребують окремого вивчення. Другий напрям, який заслуговує на увагу, – заміна експертно-каліброваного сентимент-індексу на самостійних агентів на основі великих мовних моделей, що ухвалюють рішення з урахуванням контексту.

Список використаних джерел

1. Nsengiyumva, E., Mung'atu, J. K., & Ruranga, C. (2025). Hybrid GARCH-LSTM forecasting for foreign exchange risk. *FinTech*, 4(3), 28. <https://doi.org/10.3390/fintech4030028>
2. Tripathy, N., Mishra, D., Hota, S., Mishra, S., Das, G. C., Dalai, S. S., & Nayak, S. K. (2025). Bitcoin volatility forecasting: A comparative analysis of conventional econometric models with deep learning

- models. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 15(1), 614–623. <https://doi.org/10.11591/ijece.v15i1.pp614-623>
3. Bielinskyi, A., Soloviev, V., Solovieva, V., Matviychuk, A., & Semerikov, S. (2025). Multifractal analysis of Bitcoin price dynamics. *Journal of Business Economics and Management*, 26(1), 113–134. <https://doi.org/10.3846/jbem.2025.23025>
 4. Chen, W., Liu, W., Zheng, J., & Zhang, X. (2025). Leveraging large language model as news sentiment predictor in stock markets: A knowledge-enhanced strategy. *Discover Computing*, 28(1), 74. <https://doi.org/10.1007/s10791-025-09573-7>
 5. Hashimoto, R., Takayanagi, T., Suzuki, M., & Izumi, K. (2025). Agent-based simulation of a financial market with large language models. *arXiv preprint*, arXiv:2510.12189. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.12189>
 6. Rahmadani, D. (2025). The role of gold as a safe haven asset in risk management strategies in the era of geopolitical and monetary uncertainty. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5338848>
 7. Kilian, L., & Zhou, X. (2025). Oil price shocks and inflation. У *Handbook on the Economics of Energy* (Chapter, June 2025). Edward Elgar Publishing.
 8. Хоменко, М. О. (2026). Гібридна нейромережева архітектура моделювання соціально-економічних систем в умовах екзогенних геополітичних шоків. *Modeling the Development of the Economic Systems* (подано до друку). <https://mdes.khmnu.edu.ua>

Наукове електронне видання

**ОБРОБКА ДАНИХ: МОДЕЛІ, МЕТОДИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ (ОДММТ-2026)**

**МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

(Київ, 29 травня 2026 року)

**DATA PROCESSING: MODELS, METHODS,
AND TECHNOLOGIES (DPMMT-2026)**

**CONFERENCE PROCEEDINGS
INTERNATIONAL CONFERENCE**

(Kyiv, May 29, 2026)

(Укр. та англ. мовами)

Видавець і виготовлювач
Державний торговельно-економічний університет
вул. Кіото, 19, м. Київ-156, Україна, 02156
Тел. (044) 513 74 18
Електронна пошта: knute@knute.edu.ua
267E-2026

Свідectво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 7656 від 05.09.2022