

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

УДК 004

# ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
“СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
В ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ”

16 - 17 квітня 2026

# ABSTRACTS OF REPORTS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE  
"MODERN INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES  
IN THE DIGITAL SOCIETY"

APRIL 16 - 17, 2026

Харків  
2026



УДК 004

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві»: тези доповідей, 16 – 17 квітня 2026 р. – Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2026. – 111 с.

Наведені тези пленарних та секційних доповідей за теоретичними та практичними результатами наукових досліджень і розробок. Представлені результати теоретичних та практичних досліджень стосовно галузі комп'ютерних наук, інженерії програмного забезпечення, кібербезпеки, а також систем та технологій інтелектуальної обробки даних.

Матеріали публікуються в авторській редакції.

Materials of the International scientific-practical conference "Modern information systems and technologies in the digital society": abstracts of reports, April 16 - 17, 2026. - Kh.: Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 2026. – 111 p.

The theses of plenary and sectional reports present theoretical and practical results of scientific research and development. The collection includes findings in the fields of computer science, software engineering, cybersecurity, and intelligent data processing systems and technologies.

The materials are published in the original author's edition.

#### **Disclaimer**

The content of these proceedings represents the views of the author only and is his/her sole responsibility. The European Commission does not accept any responsibility for use that may be made of the information it contains

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.*

Акіменко Кирил, Колгатін Олександр  
akimenkokir@gmail.com, oleksandr.kolgatin@m.hneu.edu.ua

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків

## СТОХАСТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ: ПОЄДНАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ МОНТЕ-КАРЛО ТА БАЄСІВСЬКОГО ОНОВЛЕННЯ

Управління ризиками є критичною складовою успішності ІТ-проектів, оскільки невизначеність вимог, технологічні зміни та кадрові фактори призводять до відхилень у строках і бюджеті. Класичні детерміновані оцінки часто не відображають реального розкиду результатів, тому актуальним є застосування стохастичного моделювання для прогнозування ймовірнісних інтервалів і сценаріїв виконання. Тому в сучасних наукових дослідженнях активно пропонується комбінований підхід:

1) симуляція Монте-Карло для поширення невизначеності від оцінок робіт і ризикових подій до підсумкових метрик проекту;

2) баєсівське оновлення параметрів / імовірностей за новими фактичними даними спринтів або контрольних точок [1]. Отже, метою даної роботи є обґрунтування моделі прогнозування на базі зазначеного комбінованого підходу для управління ІТ-проектами в специфічних умовах України.

Нехай проект складається  $n$  робіт  $i = 1..n$  з випадковими тривалостями  $D_i$  і витратами  $C_i$ , а також множини ризикових подій  $r = 1..m$  з імовірностями  $p_r$  та впливами на тривалість/вартість  $\Delta D_{ir}, \Delta C_{ir}$ . Потрібно оцінити:

1) розподіл підсумкової тривалості  $T$  і вартості  $B$ ;

2) ймовірності перевищення порогів  $P$  ( $T > T_0$ ) і  $P$  ( $B > B_0$ );

3) динамічне уточнення  $p_r$  (або параметрів розподілів  $D_i, C_i$ ) на основі спостережень прогресу, зокрема індикаторів EVM: SPI та CPI.

Для кожної роботи задаються розподіли невизначеності (наприклад, трикутний  $T_i(a_i, b_i, c_i)$  за оцінками "оптимістична /найімовірніша/ песимістична"). У кожній симуляції  $k = 1..N$  генеруються  $D_i^{(k)}, C_i^{(k)}$ , а ризикові події моделюються бернуллівськими змінними  $R_r^{(k)} \sim Bern(p_r)$ . Підсумкові показники:

$$T^{(k)} = \sum_{i=1}^n (D_i^{(k)} + \sum_{r=1}^m R_r^{(k)} \Delta D_{ir}),$$

$$B^{(k)} = \sum_{i=1}^n (C_i^{(k)} + \sum_{r=1}^m R_r^{(k)} \Delta C_{ir}).(1)$$

Далі оцінюються емпіричні імовірності перевищення та квантилі (наприклад,  $P_{80}$ ). Щоб врахувати нові дані виконання, застосовується баєсівське оновлення для імовірностей ризиків. Якщо для подій  $r$  у період спостерігаємо  $x_r$

спрацювань з  $n_r$  можливостей, а апіорний розподіл  $p_r \sim Beta(\alpha_r, \beta_r)$ , та апостеріорний:

$$p_r | x_r \sim Beta(\alpha_r + x_r, \beta_r + n_r - x_r) \quad (2)$$

Оновлені  $p_r$  підставляються в наступні прогони Монте-Карло, формуючи адаптивний прогноз ризиків.

Для демонстрації підходу розглянуто реєстр типових ризиків та змодельовано 10000 симуляцій. Результати подаються у вигляді фрагмента реєстру ризиків (Табл. 1) та квантилів тривалості/вартості (Табл. 2).

Табл. 1

Фрагмент реєстру ризиків

Код	Ризик	$p$	Вплив
R1	Зміна вимог	0.30	$\Delta T = +8\%$
R2	Дефіцит кадрів	0.20	$\Delta T = +12\%$
R3	Дефекти/переробка	0.25	$\Delta B = +10\%$

Табл. 2

Квантили підсумкових показників за Монте-Карло

Показник	$P_{50}$	$P_{80}$
Тривалість $T$ (тижні)	24.1	27.8
Бюджет $B$ (ум. од.)	1.02	1.12

Запропонований підхід забезпечує

1) прозоре кількісне оцінювання невизначеності строків і бюджету;

2) адаптивне уточнення ризиків за рахунок баєсівського оновлення;

3) можливість інтеграції з практиками управління проектами (реєстр ризиків, EVM-індикатори). Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення специфічних коефіцієнтів моделі, її адаптацію до вітчизняних умов та порівняння моделей розподілів для різних типів ІТ-проектів.

### Список літератури

1. Long Chen, Qiuchen Lu, Daguang Han, "A Bayesian-driven Monte Carlo approach for managing construction schedule risks of infrastructures under uncertainty", Expert Systems with Applications, Vol. 212, 2023, 118810, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118810>.

## DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR TRACKING POSTAL TRANSPORTATION

The purpose of the study is to develop a web application for modeling postal logistics processes, which allows you to create virtual items, manage their states, and track their movement in a closed software environment.

The object of the study is the information processes of managing the statuses of objects in logistics networks.

For research, frontend (to build a dynamic tracking interface) and backend (to implement the business logic of moving parcels) of web development based on the Java Script programming language are used.

Database tools are used to store a complete history of changes in the statuses of each virtual shipment. It uses its own emulator service that simulates delays and logistical events.

Modern logistics requires a high level of digitalization, but the development and implementation of new tracking systems is often hampered by the high cost of integration with commercial APIs, the limitations of test environments of real carriers, and the risks of working with live data.

The relevance of this work is due to the need to create an autonomous tool - a "digital twin" of the logistics chain.

The use of the sandbox system allows not only to safely test architectural solutions, but also to simulate critical scenarios (delays at customs, logistics errors, cargo losses) that are difficult to reproduce using real services.

This makes the project important both for software developers (as a rapid prototyping environment) and for educational or business intelligence purposes, where you need to visualize complex processes of moving goods without financial and operational costs for real infrastructure.

In addition to the technical and economic aspects, the importance of developing such a

system is reinforced by the growing demand for specialized educational tools for the training of personnel of logistics companies.

The virtual sandbox is becoming an indispensable testing ground for practicing crisis management skills without risking real supply chains.

This allows future specialists to better understand the dynamics of interconnections between different stages of delivery, and interface developers to validate the convenience and informativeness of UI solutions based on synthetic scenarios that are as close to reality as possible.

The practical value is to create a ready-made prototype for training logistics company personnel or testing interfaces without the risk of damaging real data.

The scientific novelty lies in the development of a model of postal statuses, which can be adapted to any carrier by setting up the rules for the transition between statuses.

Thus, the conducted research makes a significant contribution to the optimization and automation of logistics chains of transport and postal services, staff training, safe business analysis of costs and risks in transportation.

### References

1. Grieves, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication.
2. Grigoriev, O. V., Kulbachnyi, Y. I. (2021). Modeling of logistics processes in complex systems.
3. "The Role of Sandboxing in Software Development Life Cycle" (Journal of Software Engineering).
4. React Documentation (Official). [Electronic resource]. – Access mode: <https://react.dev/>.
5. ISO/IEC 15459: Information technology. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.iso.org/standard/54782.html>.
6. DSTU ISO 9001:2015 Quality Management Systems. [Electronic resource]. – Access mode: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=64013](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64013).

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ПК З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПРОДУКТИВНОСТІ

Підбір комплектуючих для персонального комп'ютера є критично важливим завданням як для звичайних користувачів, так і для професіоналів. Традиційні методи вибору деталей часто не забезпечують достатньої впевненості у їхній апаратній сумісності та підсумковій продуктивності системи.

Дослідження ринку показують, що більшість існуючих рішень від маркетплейсів зосереджуються переважно на продажах, не надаючи інструментів для об'єктивного аналізу швидкодії майбутньої збірки.

Актуальною проблемою є відсутність комплексних систем, які б поєднували функціональність гнучкого конфігуратора з прогнозуванням продуктивності на основі стандартизованих метрик. Таким чином, запропоноване рішення відрізнятиметься комплексним підходом, що поєднує покроковий вибір компонентів з аналітикою продуктивності, базуючись на верифікованих даних.

Метою дослідження є розроблення інтелектуальної системи моделювання апаратної конфігурації ПК з прогнозуванням продуктивності для спрощення процесу збірки та оптимізації витрат користувачів.

Цільовою аудиторією є IT-спеціалісти, геймери, дизайнери та звичайні користувачі, які прагнуть зібрати оптимальну комп'ютерну систему під власні потреби.

Запропоноване дослідження зосереджується на трьох основних запряжках:

- дослідження алгоритмів апаратної сумісності: Розробка гнучкої моделі збереження даних на базі NoSQL рішень для валідації сумісності компонентів. Система автоматично відфільтруватиме непідходящі деталі на кожному етапі вибору, аналізуючи такі параметри як сокети процесорів, типи оперативної пам'яті, форм-фактори материнських плат та необхідну потужність блоків живлення;

- моделювання та аналіз "вузьких місць" (Bottleneck)[1]: Розроблення евристичного алгоритму для виявлення апаратного дисбалансу між центральним процесором (CPU) та відеокартою (GPU). Модуль прогнозування використовує показники бенчмарків з офіційного сайту PassMark Software [2] для оцінки загальної потужності зібраного ПК.

Алгоритм досліджує співвідношення цих показників при різних роздільних здатностях екрана, пояснюючи користувачу природу втрати продуктивності та пропонуючи шляхи оптимізації. Це програмне забезпечення заглибилось в мільйони результатів тестувань, які користувачі PerformanceTest опублікували на його веб-сайті, і створило чотири діаграми, щоб допомогти порівняти відносну продуктивність різних компонентів;

- прогнозування кадрової частоти (FPS) [3] за допомогою ШІ: Впровадження моделі штучного інтелекту, навченої на зібраних масивах ігрових тестів, для прогнозування середнього показника FPS у конкретних відеоіграх під заданими графічними налаштуваннями.

Експериментальна частина дослідження складається з двох основних етапів:

Перший етап зосереджений на навчанні та валідації інтелектуальної моделі прогнозування кадрової частоти на базі алгоритмів машинного навчання (зокрема, регресійних моделей ансамблевого типу). Для забезпечення високої точності прогнозів та уникнення синтетичних похибок, формування еталонного набору даних (ground truth) [4] здійснюється шляхом агрегації реальних емпіричних результатів. Дані збираються з незалежних джерел, зокрема шляхом аналізу результатів натурних тестувань апаратних збірок на профільних YouTube-каналах та спеціалізованих оверклокерських ресурсах. У ході експерименту прогнозовані моделлю значення FPS порівнюються з фактичними показниками з відео-тестів, що дозволяє розрахувати метрики похибки та довести достовірність роботи алгоритму. Наявність модуля розрахунку bottleneck [1] додатково коригує прогнози моделі, знижуючи очікуваний FPS у випадках апаратного дисбалансу. Для автоматизації збору та актуалізації даних реалізовано алгоритми інтелектуального парсингу [5] та конвеєри обробки даних (ETL-процеси), які регулярно витягують оновлені показники бенчмарків та результати ігрових тестів, нормалізуючи їх для подальшого навчання моделей машинного навчання. Перед подачею зібраних даних у модель штучного інтелекту проводиться обов'язковий етап попередньої обробки. Цей

процес включає очищення датасетів від аномальних значень, які можуть виникати через специфічні програмні збої або фонове навантаження під час запису натурних відеотестів. Додатково застосовуються математичні методи нормалізації та масштабування ознак, що дозволяє збалансувати вплив абсолютно різних апаратних характеристик на кінцевий результат прогнозування.

Другий етап експерименту включає розгортання архітектури системи в кластері Kubernetes [6] для забезпечення масштабованості та стійкості до відмов. Для проведення навантажувального тестування буде створюватись штучний трафік за допомогою утиліти JMeter [7], що імітує масову поведінку реальних користувачів у конфігураторі. Моніторинг стану системи, використання ресурсів (CPU/RAM) та аналіз часу відгуку компонентів під навантаженням здійснюється за допомогою платформи Grafana [8], що дозволяє виявити інфраструктурні "вузькі місця" розробленого рішення. Необхідність проведення такого глибокого інфраструктурного тестування зумовлена високою обчислювальною складністю алгоритмів багатокритеріального пошуку сумісних компонентів та роботи інтелектуальних моделей у режимі реального часу. Використання мікросервісного підходу дозволяє надійно ізолювати ресурсоміткі фонові процеси парсингу та предиктивної аналітики від безпосереднього обслуговування користувацьких запитів, мінімізуючи ризики каскадних відмов системи при різких стрибках веб-трафіку.

Впровадження розробленої інформаційної системи дозволить якісно змінити підхід до вибору комп'ютерних комплектуючих, перетворивши його з інтуїтивного процесу на науково обґрунтоване апаратне моделювання. Завдяки інтеграції бази даних сумісності на основі гнучких NoSQL рішень, користувачі отримують гарантований захист від ризиків придбання фізично чи технологічно несумісних деталей на всіх етапах збірки.

Особливу наукову та практичну цінність становить реалізований модуль прогнозування продуктивності та виявлення апаратного дисбалансу. Використання моделей штучного інтелекту, верифікованих на основі масивів реальних емпіричних тестів, забезпечує високу точність прогнозування кадрової частоти (FPS) у відеоіграх. Це дозволяє користувачам об'єктивно оцінювати баланс між центральним процесором та відеокартою при різних навантаженнях, уникаючи невиправданих переплат за надлишкову потужність окремих

вузлів, яка не зможе бути реалізована через системні обмеження.

Таким чином, результатом дослідження буде представляти собою інноваційне комплексне рішення, що об'єднує зручний конфігуратор з потужним аналітичним ядром. Поєднання методів машинного навчання з глибоким експериментальним інфраструктурним тестуванням створює масштабований, стійкий до відмов продукт. Система не лише спрощує процес збірки ПК, але й виконує роль інтелектуального помічника, що сприяє оптимізації фінансових витрат користувачів та максимізації продуктивності їхніх робочих станцій. Додатковою перевагою стане можливість адаптивного оновлення моделей відповідно до появи нових поколінь апаратного забезпечення, що забезпечить довготривалу актуальність системи без необхідності повної її перебудови. Крім того, імплементація подібної системи в середовище електронної комерції дозволить інтернет-магазинам значно знизити відсоток повернень товару, пов'язаних із проблемою самостійного підбору комплектуючих користувачами без перевірки продуктивності для певних задач, а також підвищити рівень довіри споживачів до цифрових сервісів підбору техніки.

## Список літератури

1. What is a performance bottleneck? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://modal.com/gpu-glossary/perf/performance-bottleneck>
2. Парсинг сайтів: що це, як працює та навіщо парсити дані. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.promodo.ua/blog/parsing-saytiv-shcho-ce-yak-pracyuie-ta-navishcho-parsiti-dani>
2. Passmark Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.passmark.com/products/performance-test/index.php>
3. Що таке FPS в іграх і чому він важливий? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://suri.com.ua/shcho-take-fps-v-ihrah-i-chomu-vin-vazhlyvyi/>
4. Ground truth [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Ground\\_truth](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ground_truth)
5. Парсинг сайтів: що це, як працює та навіщо парсити дані [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.promodo.ua/blog/parsing-saytiv-shcho-ce-yak-pracyuie-ta-navishcho-parsiti-dani>
6. Kubernetes Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kubernetes.io/docs/home/>
7. JMeter Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jmeter.apache.org/usermanual/index.html>
8. Grafana Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://grafana.com/docs/>

## HYBRIDIZATION OF PMBOK STANDARDS AND GENETIC ALGORITHMS FOR IT PROJECT OPTIMIZATION

In IT project management, schedule optimization methods play a key role, allowing project managers to utilize available time and resources with maximum efficiency. In a fast-paced technological environment where flexibility and speed are critical, precise planning and workflow optimization become decisive success factors [1]. These methods help ensure timely project completion and adherence to budget constraints, while also contributing to the improvement of the final product's quality through optimal resource utilization and effective risk management [2]. The Project Management Body of Knowledge (PMBOK) is recognized as the gold standard in project management, offering best practices and guidelines that cover all aspects of a project [3].

However, this standard can prove difficult to adapt within small organizations or in rapidly changing environments [4]. Figure 1 illustrates the project life cycle.



Fig. 1. PMBOK Project Management Standard

In modern conditions, there is a need for technology integration to bridge the gap between the requirements of a contemporary project management environment - which must remain stable and competitive in the business market - and the capabilities offered by traditional project management planning tools.

Genetic algorithms represent an alternative approach that allows for adaptation to changes and the optimization of project management processes.

By utilizing evolutionary principles, such algorithms are capable of consolidating various project tasks into a single optimization process and constructing the most effective implementation plan.

The shortcomings of PMBOK recommendations manifest in their limited flexibility for dynamic project management. At the same time, methods based on genetic algorithms allow for the integration of flexibility and adaptability into planning processes, going beyond traditional approaches, which leads to more effective project management.

Conclusions. This work examines the relevance of applying optimization methods to improve the efficiency of IT project management. Analysis has shown that traditional approaches, specifically the PMBOK standard, while fundamental for process structuring, have significant limitations in conditions of high uncertainty and the need for rapid adaptation. Thus, the proposed hybrid approach allows for the combination of PMBOK's structural reliability with the flexibility of intelligent algorithms, creating a foundation for minimizing temporal risks and ensuring optimal utilization of organizational resources.

## References

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>. <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15.pdf>.
2. Токарев В., Лїна І., Шевченко І., Грищенко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при В2С доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.110).
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: [doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6).
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Лїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.088).

Skorin Yuriy, Khusainov Nikita  
 yuriy.skorin@m.hneu.edu.ua, mykyta.khusainov@m.hneu.edu.ua

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

## BUSINESS MODEL FOR FORECASTING DEMAND FOR TRAVEL SERVICES

The purpose of the study is to develop a business model that would automate the process of accounting, analysis and forecasting of demand for tourist services of the travel agency's information systems.

Such an application will allow you to register user requests, store data on destinations and categories of travel services, filter requests, generate reports, and also provide multi-level authorization for users of different roles.

Today, the sphere of tourist services is rapidly transforming under the influence of computerization of all sectors of the national economy, which covers both the processes of promotion of services and the management of internal data, including demand accounting.

In traditional practice, managers of travel companies keep track of customer requests and interests manually or using primitive spreadsheets, which makes it impossible to quickly analyze trends and form strategic information for making managerial decisions.

In modern conditions of growing competition in the market, the need to create specialized systems that automate the processes of demand accounting is extremely relevant.

It should be noted that tourist demand is characterized by a complex nature, which depends on many variables, namely:

1. seasonality;
2. political stability;
3. economic situation;
4. infrastructural accessibility of directions;
5. weather conditions;
6. local events;
7. cultural holidays, epidemiological risks, etc.

A system that would take into account all these parameters and allow tracking changes in demand over time would significantly increase the efficiency of travel companies.

Traditional CRM systems, although they have a wide range of functionality, often turn out

to be redundant or too complex for small travel agencies.

In such conditions, a convenient and highly specialized solution, focused specifically on demand accounting, allows you to better adapt the system to the needs of a particular business.

It is this logic that is the basis of the web application being developed.

Automation of the demand accounting process provides for the possibility of prompt data entry, processing, storage in a structured form, as well as obtaining final statistics or dynamic analysis in the form of filters and reports.

The system should provide for such key parameters of requests as the country and city of destination, the number of people, the desired date of departure and return, the expected budget, the category of the tour, the duration of the trip, etc.

In the future, such a system can be integrated with a mobile application or a web platform for the end user, but at the development stage, internal demand accounting remains in focus.

This allows you to focus on improving the analytical unit, setting up filtering logic, reporting, supporting various user roles (manager, analyst, administrator), etc.

## References

1. Obolentseva L.V. Problems and prospects of formation of the tourist image of Ukraine as an important component of the development of tourism and economy of the state / L.V. Obolentseva, S.A. Aleksandrova, K.O. Petrenko // International scientific journal. – 2016. – №1 . – P. 72–76.
2. M.M. Tsependa. Information systems, communications and technologies in the tourist industry. Manual. / Tsependa M.M., V.I. Burka // Chernivtsi: Chernivtsi. Nats. Univ. Y. Fedkovych. – 2024. – 176 p.
3. Zagutskyi U.R., Tsymbalyuk V.M., Shevchenko S.G. Planning and diagnostics of enterprise activities: teaching manual. Kyiv: Lira-K, 2013. – 320 p.



## OVERCOMING RESOURCE CONSTRAINTS IN IT PROJECT PLANNING THROUGH SOM HYBRIDIZATION

In today's dynamic business environment, most projects are characterized by high complexity and require significant resource involvement. Effective project organization involves the optimal allocation of labor and material resources, which presents a substantial challenge for project managers during the planning phase [1].

This issue is particularly acute in the field of information technology, where projects have specific requirements and demand specialized approaches to planning and management. Project planning is one of the key tasks in project management [2].

Depending on project priorities and objectives, the optimization task may involve minimizing the total project duration or ensuring optimal resource distribution among tasks [3].

Despite a variety of optimization criteria, the planning process remains complex, requiring the application of effective methods and lacking a universal solution. To increase the efficiency of project planning, this study proposes exploring the integration of Self-Organizing Maps with genetic algorithms [4].

Utilizing SOM in combination with a genetic algorithm has the potential to improve the efficiency of searching for optimal solutions and prevent the algorithm's premature convergence to local optima [5]. In the field of IT project management, effective planning is a key success factor. A successful project begins with proper planning, which includes detailed analysis and a strategic approach to defining the scope of work, resources, timelines, and quality requirements. Project planning faces several challenges, notably the problem of establishing a work plan under resource constraints. Existing planning standards, such as the Project Management Body of Knowledge, ISO 15288, and ISO 12207, provide valuable recommendations for effective project management; however, they offer only general guidelines and do not resolve specific problems that arise during the planning process. The development of artificial intelligence opens new opportunities for overcoming these challenges and improving project planning efficiency. Let us consider how project planning processes are organized according to general recommendations. According to these standards, the project planning process includes the development and coordination of effective plans, the definition of project objectives and constraints, resource management, the establishment of a work breakdown structure (WBS) based on system architecture, and technical management planning.

The integration of modern artificial intelligence tools, such as Kohonen Self-Organizing Maps and genetic algorithms, can significantly enhance planning processes by providing more accurate and flexible management of resources and tasks. This approach facilitates the avoidance of premature convergence to local optima and increases the efficiency of projects.

Conclusions. This study investigated the problem of planning complex IT projects, which are characterized by high resource intensity and dynamism. It has been proven that using artificial intelligence technologies is advisable to increase planning efficiency. Thus, combining the systematic approach embedded in international standards with the power of hybrid intelligent algorithms creates an effective mechanism for optimizing the temporal and resource parameters of IT projects, ensuring their competitiveness in the modern business environment.

## References

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk, Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>. <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15.pdf>.
2. Токарев В., Ільїна І., Шевченко І., Гриценко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.110).
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: [doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6).
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Ільїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.088).

## NATURAL LANGUAGE PROCESSING TO EXAMINE USER FEEDBACK

The aim of the research is to devise an automated system for user feedback analysis utilizing natural speech processing techniques to ascertain sentiment, main aspects, and subjects.

The focus of the study involves methodologies and frameworks for natural speech processing to streamline the evaluation of text responses. Research approaches comprise machine learning, deep neural networks, statistical text scrutiny methods, and framework quality appraisal techniques.

Classic algorithms, neural network designs, and transformer structures are employed. The study's outcomes can be utilized in e-commerce, service organizations, software creation, marketing, and analytics to automate the assessment of evaluations and discover patterns within vast quantities of text information. In the current digital environment, the volume of text data generated by users of goods and services is rapidly increasing. Specifically, user evaluations have become a vital component of the contemporary business structure.

The capacity to efficiently analyze these evaluations has transformed into a crucial factor for business success for enterprises aiming to stay competitive. Established approaches to analyzing feedback relying on manual handling encounter numerous constraints. Experts can only effectively examine a finite number of texts, and the inherent bias of human understanding results in disparities in findings.

Furthermore, human resources frequently concentrate on the most recent input, entirely overlooking historical data that might disclose long-term directions. From a business viewpoint, user evaluations supply precious intelligence regarding: the merits and demerits of a product or service; the desires and necessities of clientele; a comparison against rivals; suggestions for enhancement and progress; issues needing immediate resolution.

Nevertheless, drawing out this intelligence from a large collection of unstructured text information remains an arduous endeavor. This is

where natural speech processing (NLP) technologies become relevant. NLP is a multidisciplinary area that merges computer science, artificial intelligence, and linguistics to permit interaction between computers and human language.

To address the objectives, a comprehensive methodological strategy will be implemented, integrating the techniques of machine learning, deep learning, natural language processing, and data evaluation.

The practical value of the achieved findings rests in the potential to deploy them for building efficient systems for automated user feedback analysis, which can be incorporated into the operational processes of firms across various scales and sectors.

Such systems permit not only the lowering of costs associated with evaluation analysis but also gaining deeper and more impartial perceptions into how users perceive products and services, identifying subtle patterns and trends, and responding swiftly to serious issues.

Therefore, the performed investigation offers a significant contribution to advancing methods for automating the scrutiny of user evaluations using natural language processing and establishes the foundation for further refinement of such frameworks.

## References

1. Stanford Sentiment Treebank. [Electronic resource] // Stanford NLP Group. 2023. – Access mode: <https://nlp.stanford.edu/sentiment/>.
2. State of AI Report 2023. [Electronic resource] // State of AI. 2023. Access mode: <https://www.stateof.ai/>.
3. TensorFlow Documentation. [Electronic resource] // Google. 2024. Access mode: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs](https://www.tensorflow.org/api_docs).
4. Beecham S. Software Process Improvement Problems in Twelve Software Companies: An Empirical Analysis / S. Beecham, T. Hall, A. Rainer, et al. // Empirical Software Engineering 2003 8(1): 7-42. [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1023/A:1021764731148>.

## ENHANCING ADAPTABILITY IN IT PROJECT PLANNING THROUGH SOM HYBRIDIZATION

Successful project management requires the integration of risk planning at an early stage. Effective risk management allows for minimizing potential negative impacts on the project and its objectives. Regular review of project progress and its alignment with established goals helps identify and correct deviations in a timely manner, ensuring adaptability and flexibility in project management [1].

Together, these elements form the foundation for creating a resilient and successful IT project. Effective planning, resource and risk management, as well as the use of modern artificial intelligence tools, ensure project integrity and success, making it more resilient to challenges and unforeseen circumstances [2].

In the field of IT project planning, the methodologies defined by the ISO 15288 and ISO 12207 standards are standard frameworks that offer a comprehensive approach to managing the life cycle of systems and software, respectively. ISO 15288 focuses on system engineering, presenting a structured process that covers all phases of the system life cycle, from concept to disposal [3].

It emphasizes the importance of integrating various disciplines and processes to ensure effective and efficient system delivery. ISO 12207, on the other hand, is oriented toward the software life cycle, providing a detailed structure for planning, management, development, and maintenance of software products. Both standards establish clear frameworks for organizing processes that assist in defining the scope of work, resources, timelines, and quality [4].

A key aspect of these methodologies is the integration of risk management at an early stage. Identifying, analyzing, and developing response strategies for potential risks allow for minimizing their negative impact on the project. Regular monitoring of project progress and its compliance with established goals ensures the timely identification and correction of deviations, which increases the adaptability and flexibility of project management [5].

In modern IT projects, the application of artificial intelligence, such as Kohonen Self-Organizing Maps and genetic algorithms, can significantly improve planning and management processes. These tools contribute to more accurate and flexible management of resources and tasks, helping to avoid premature convergence to local optima and increasing the overall efficiency of projects.

Overall, comprehensive planning, which includes resource management, risk management, and the use of modern technologies, creates the basis for

the successful execution of IT projects. Both standards advocate for a process-oriented approach to project management, emphasizing the importance of clearly defined processes, roles, and responsibilities throughout the project life cycle. They share the goal of ensuring quality, reliability, and efficiency in project implementation.

Conclusions. This work conducted a comprehensive analysis of IT project planning methodologies based on the international standards ISO 15288 and ISO 12207. It was established that a key success factor in the modern development of complex systems is the combination of a structured process approach with flexible adaptation mechanisms at the early stages of the life cycle. The research results confirm that the integration of intelligent methods into the classical frameworks of systems engineering creates a solid foundation for ensuring the quality, reliability, and high overall efficiency of complex IT system implementations.

## References

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>. <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15.pdf>.
2. Токарев В., Ільїна І., Шевченко І., Гриценко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при В2С доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.110).
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: [doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6).
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Ільїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: [doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.088).

Skorin Yuriy, Laktionov Artem  
 yuriy.skorin@m.hneu.edu.ua, artem.laktionov@m.hneu.edu.ua

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

## HYBRID ENCRYPTION TECHNIQUES IN BLOCKCHAIN NETWORKS

The goal of the research is to implement hybrid encryption methods to guarantee the confidentiality, integrity, and authenticity of conveyed data in blockchain networks. Contemporary cryptographic algorithms were examined, their pros and cons were determined, and a hybrid scheme integrating symmetric and asymmetric encryption was suggested. The focus of the research is the procedure of data exchange among participants in the blockchain network. The subject of the research involves cryptographic methods aimed at enhancing the security of information transmission.

An analysis of cryptographic dangers was performed, noting typical weaknesses of data transmission in public blockchains, especially when exchanging keys and moving sensitive information to or outside the network consensus. The outcome of the research is the creation of a solution for a secure data transfer channel utilizing hybrid encryption, which is tailored to the specifics of the blockchain setting.

In today's information sphere, blockchain technologies are actively being adopted across diverse sectors, spanning from finance and logistics to education, medicine, and public governance.

The primary merit of blockchain is guaranteeing the integrity, openness, and immutability of information recorded on a shared ledger. Simultaneously, contrary to the widespread perception regarding the robust security of decentralized systems, the blockchain itself does not afford complete defense for transmitted information, particularly at the level of communication between system members.

Threats common to traditional computer networks remain pertinent: Man-in-the-Middle (MITM) assaults, which permit disruption of data transfer between nodes; substitution of transactions or tampering with content prior to their inclusion in the block; seizure of private details during the creation, signing, or forwarding of transactions; leveraging weak or obsolete cryptography algorithms that fail to meet current standards.

During the research, an extensive study of hybrid encryption methods and their use for safeguarding information in blockchain settings was carried out. Based on the theoretical review, it was ascertained that hybrid cryptography merges the strengths of both symmetric and asymmetric encryption techniques: rapid processing of symmetric algorithms (such as AES) and safe key exchange facilitated by asymmetric algorithms (for instance, ECC). This convergence enables achieving an optimal equilibrium between performance and security within decentralized network conditions.

The study's findings illustrated the high effectiveness of the selected cryptographic model: minimal latency in encrypting and decrypting, adherence to modern standards, scalability, and defense against major attack vectors (including MITM and traffic pattern analysis).

The comparative assessment also corroborated the benefits of the hybrid model over conventional methods. Therefore, the derived results form the foundation for developing practical applications in secure data transmission for Web3 systems, decentralized applications, and next-generation digital ecosystems.

## References

1. DSTU 3008:2015 Information and documentation. Reports in the field of science and technology. Structure and rules of registration. – Kyiv: State Enterprise UkrNDNC, 2015. – 28 p.
2. DSTU 3582:2013. Information and documentation. Bibliographic description. Abbreviations of words and phrases in Ukrainian. General requirements and regulations (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ) / Nats. standard of Ukraine. – Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2014. – 18 p.
3. DSTU 8302:2015. Information and documentation. Bibliographic reference. General provisions and rules of compilation / Nats. standard of Ukraine. – Kyiv: SE "UkrNDNC", 2016. – 18 p.
4. Encryption. Types and algorithms. [Electronic resource]. – Access mode: <https://hostpro.ua/wiki/ua/security/encryption-types-algorithms/>.

Skorin Yuriy, Lukyanchuk Sofia  
 yuriy.skorin@m.hneu.edu.ua, sofia.lukiianchuk@m.hneu.edu.ua

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FINANCIAL RISK OVERSIGHT SYSTEMS

The aim of the investigation is to deploy artificial intelligence in automated financial risk oversight systems so as to boost the precision, expediency, and efficacy of administrative choices in the finance sector.

Within the scope of the investigation, a framework for anticipating the credit exposure of bank patrons has been created, enabling solvency appraisal based on past records and contemporary machine learning techniques. The focus of the investigation is automated financial risk oversight mechanisms operating in the banking and finance domains. The subject matter is artificial intelligence algorithms and frameworks that can be incorporated into automated financial risk oversight systems to enhance forecast accuracy and pinpoint risky clientele. The research technique involves modeling utilizing machine learning utilities, specifically neural networks and ensemble learning approaches. The outcome of the investigation is the development of a potent framework for predicting credit exposure, showcasing a high degree of classification correctness and the capacity to adjust to shifts in input conditions.

As part of the investigation, a hands-on instance of constructing a framework for anticipating the credit exposure of bank clientele was executed. The primary objective is to establish an intelligent classification process capable of determining if the client will manage to repay the obligation promptly in the future. Such a process permits the bank to lessen the probability of losses owing to loan defaults, augment risk management potency, and render well-founded credit determinations. For the simulation, an accessible data collection from the Kaggle platform — Home Credit Default Risk — was utilized. This data collection includes over 300,000 entries of clientele with diverse attributes such as age, earnings tier, count of dependents, credit background, accommodation style, occupation, and so forth. The study examined the prospects, advantages, and hurdles

of employing artificial intelligence in automated financial risk oversight systems. The evaluation of theoretical underpinnings, categorization of financial exposures, technical specifications for deploying intelligent systems, along with practical modeling using credit exposure forecasting as an illustration, was conducted. General methodologies for financial risk oversight are reviewed, their grouping and traits in current economic settings are ascertained. Special consideration is given to aspects of model explanation, which constitutes a critical element for embedding AI in risk oversight procedures to comply with regulatory mandates. A practical exercise was performed to devise a framework for anticipating the credit exposure of a bank patron. Actual figures were pre-processed, multiple frameworks were constructed and assessed, and correctness was gauged employing metrics.

Concurrently, their deployment necessitates appropriate technical and organizational backing, encompassing matters of explanation, verification, and modification to fluctuations in the commercial landscape.

## References

1. Ministry of Digital Transformation. The concept of AI development in Ukraine. [Electronic resource]. – Access mode: <https://thedigital.gov.ua>.
2. Borovyk O.I. Fundamentals of Machine Learning. : nauch. Manual. / O.I. Borovyk. — Kyiv: KNU, 2020. 214 p.
3. Hryhoruk P.M. Intellectual Information Systems. : textbook / P.M. Hryhoruk. — Lviv: LNU, 2019. — 312 p.
4. Zymoglyad O.O. Analysis of financial risks: monograph / O.O. Zymoglyad. — Kyiv: KNEU, 2021. 186 p.
5. Ivanchenko A.I. Fundamentals of building information management systems. Manual. / A.I. Ivanchenko. — Kharkiv: KhNEU, 2020. 229 p.
6. Palamarchuk O.V. Artificial Intelligence in Financial Technologies / O.V. Palamarchuk. — Kyiv: NAU, 2021. — 198 p. (
7. Action. Digital transformation of finance in Ukraine. [Electronic resource]. – Access mode: <https://diia.gov.ua>.

## PERFORMANCE TRADE-OFFS AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF DATA SERIALIZATION PROTOCOLS IN MICROSERVICE ARCHITECTURES

In contemporary distributed systems, microservices communicate extensively via network-based message exchange, and the serialization mechanism is a critical infrastructure component that influences overall system behavior. Even marginal overhead in serialization and deserialization operations may accumulate significantly in high-throughput environments, directly affecting latency, throughput, CPU utilization, and memory consumption. Consequently, selecting an appropriate serialization format represents not merely a technical detail but a strategic architectural decision. The research aimed to conduct a comprehensive, methodologically consistent comparative evaluation of serialization protocols in microservice architectures, with particular emphasis on performance efficiency, payload compactness, scalability under load, and resilience to schema evolution.

To ensure the reliability and validity of results, the experimental design was constructed around the principles of reproducibility, environmental isolation, and equivalence of testing conditions. Hardware parameters were fixed throughout the testing process, background processes were minimized to reduce interference, and consistent runtime configurations were maintained. Such preparation was necessary to prevent external factors from distorting performance measurements. The evaluation framework included multiple complementary testing scenarios in order to reflect both synthetic and realistic operational conditions. These scenarios comprised isolated microbenchmarks for raw serialization and deserialization speed measurement, integration tests simulating inter-service communication patterns, stress testing under concurrent load, and validation scenarios addressing schema evolution and backward compatibility.

The empirical analysis focused on three widely discussed serialization approaches: a text-based format (JSON) and two binary formats (MessagePack and MemoryPack). JSON remains one of the most broadly adopted serialization formats due to its simplicity, human readability, and universal ecosystem support. However, its textual representation inherently introduces redundancy, as field names and structural delimiters are explicitly transmitted in every message. Binary formats, in contrast, are designed to minimize representation overhead by encoding structural information more compactly and avoiding repeated textual identifiers.

During experimentation, several quantitative metrics were systematically recorded. These included

serialization time, deserialization time, size of the serialized payload, memory allocation behavior, and end-to-end latency under concurrent execution. In addition to mean values, the analysis incorporated medians, standard deviations, and high-percentile measurements such as the 95th and 99th percentiles. This statistical approach enabled not only the evaluation of average-case performance but also the assessment of stability and tail behavior under peak conditions, which is particularly important for high-availability distributed systems.

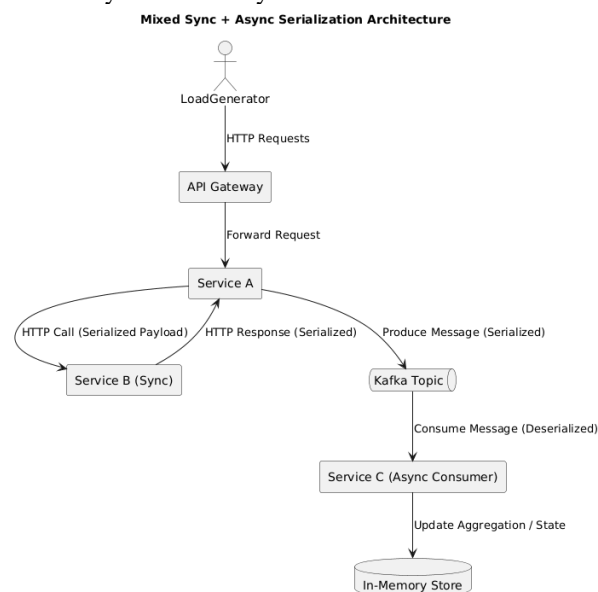


Fig. 1. Component diagram of a microservices test environment

Experiments involving simple object models with nullable fields revealed substantial differences in compactness between text-based and binary representations. The binary formats significantly reduced payload size compared to JSON, which incurred notable overhead due to textual field naming and formatting. Although all evaluated protocols correctly preserved null values during deserialization, the magnitude of payload differences becomes increasingly important at scales of millions of messages exchanged per second. In high-load microservice ecosystems, even a modest reduction in message size can lead to measurable improvements in network throughput and reduced transmission latency.

Further experiments addressed robustness in the presence of schema evolution and type modifications. In distributed systems, service contracts frequently evolve, and serialization formats must handle

structural changes predictably. The analysis demonstrated that certain formats explicitly raise exceptions when encountering incompatible type transformations, thereby preserving deterministic failure behavior. In contrast, one of the evaluated binary approaches in a specific scenario completed deserialization without generating an error despite a structural mismatch. While this behavior may enhance flexibility in some contexts, it also introduces the risk of silent logical inconsistencies. This observation underscores the need to integrate robust validation mechanisms in systems where data integrity is critical.

Performance benchmarking on medium-complexity models containing nested objects, collections, and variable-length data structures provided further insight into computational efficiency. Binary formats demonstrated a pronounced advantage in serialization speed over the text-based approach, particularly for simple and moderately complex structures. In certain test cases, one binary protocol achieved multiple-fold improvements in serialization throughput compared to JSON. However, as structural complexity increased—especially in the presence of deeply nested hierarchies or union-type constructs—the relative performance gap narrowed. Additional processing required to manage structural metadata partially offset the raw speed advantage observed in simpler cases.

Load testing under concurrent execution conditions further illuminated scalability characteristics. When subjected to parallel request processing, the binary formats maintained consistent throughput while utilizing lower bandwidth, owing to their compact payload representation. The text-based format exhibited increased latency growth as message size and structural complexity expanded, reflecting cumulative parsing overhead. In runtime environments optimized for memory efficiency, one binary protocol demonstrated particularly strong performance, thanks to reduced data copying and direct memory access optimizations. Nevertheless, real-world performance gains were somewhat lower than those reported in synthetic benchmark environments, especially for complex composite data models. This discrepancy underscores the importance of evaluating serialization mechanisms under realistic workload conditions rather than relying solely on microbenchmark claims.

The experimental findings confirm that selecting the serialization protocol cannot be based solely on raw speed metrics. Architectural suitability must be assessed through a multi-criteria perspective that considers interoperability, maintainability, schema evolution strategy, ecosystem maturity, and long-term support. Binary formats provide measurable improvements in compactness and computational efficiency; however, they may complicate cross-platform integration, debugging, and transparency. Text-based formats, despite their higher overhead, offer advantages in readability, ease of inspection, and broad compatibility across heterogeneous technology stacks.

An additional dimension of analysis concerns maintainability and developer productivity. Human-

readable formats facilitate debugging, logging, and troubleshooting in distributed environments. Binary formats, while more efficient, often require specialized tooling for inspection and diagnostics. Consequently, the system's operational context plays a decisive role in determining whether compactness or transparency should be prioritized. Systems that expose public APIs or interact with diverse external consumers may favor textual formats for compatibility, whereas internal high-frequency communication channels may benefit substantially from binary encoding.

Another important observation relates to memory allocation behavior. Efficient serialization not only reduces network traffic but also influences garbage collection patterns and heap pressure in managed runtime environments. Reduced memory allocation and minimized object copying can lower pause times and enhance overall system responsiveness. Binary formats that employ optimized memory access strategies may therefore contribute indirectly to improved stability under sustained load conditions.

The overall synthesis of results leads to several principal conclusions. First, binary serialization formats consistently outperform text-based formats in terms of payload size and raw processing speed. Second, performance gains vary depending on data model complexity and runtime environment characteristics. Third, robustness to schema evolution differs among protocols and must be carefully evaluated in long-lived distributed systems. Fourth, interoperability and ecosystem considerations remain decisive factors in architectural decision-making. Finally, real-world workload testing is essential for obtaining reliable performance assessments that reflect operational behavior rather than isolated synthetic benchmarks.

In summary, the research provides a structured, empirically grounded understanding of the trade-offs inherent in selecting a serialization protocol within microservice architectures. The findings emphasize that optimal design decisions emerge from balancing efficiency, compatibility, maintainability, and reliability requirements. By integrating quantitative performance analysis with qualitative architectural considerations, system designers can make evidence-based choices aligned with both technical constraints and long-term strategic objectives.

## References

1. Bourhis P., Reutter J. L., Suarez F., Vrgoč D. JSON: data model, query languages and schema specification. Proceedings of the 36th ACM SIGMOD-SIGACT-SIGAI Symposium on Principles of Database Systems. 2017. C. 123–135.
2. Bray T. The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. RFC 8259. 2017. Internet Engineering Task Force.
3. Burns B., Beda J. Kubernetes: Up and Running. O'Reilly Media, 2019. 314 c.
4. Chen T., Shang W., Jiang Z. M., Hassan A. E. Understanding Performance Regression at Commit Time. Empirical Software Engineering. 2017. Vol. 22. P. 2214–2254.



Skorin Yuriy, Koltsova Elizaveta  
yuriy.skorin@m.hneu.edu.ua, yelyzaveta.koltsova@m.hneu.edu.ua

Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv

## APPLICATION OF WEB TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF ORDER MANAGEMENT SYSTEMS IN THE FLOWER INDUSTRY SEGMENT

The purpose of the study is to identify the features and justify the use of web technologies to automate order accounting in the flower business, especially for small and medium-sized enterprises.

Due to high competition and the specifics of working with perishable goods, there is a problem of inefficiency of manual accounting, which leads to errors in the execution of operations, loss of important information about orders, complication of inventory control and logistics, as well as deterioration in the quality of customer service.

Traditional methods such as paper media or individual spreadsheets do not meet the needs of today's market, where speed, accuracy, and personalization are major success factors [1].

A modern way to solve these problems is to create a specialized web application that provides a single digital platform for managing all aspects of the business.

Web technologies provide a stable basis for the integration of a product catalog with updated balances, a dynamic order builder that allows customers to create special bouquets, plan and track delivery in real time, as well as automatically prepare reports.

This approach reduces document chaos, reduces the impact of human errors, and ensures transparency across all processes. The ability to work from any device – computer, tablet or smartphone – provides flexibility to the owner, manager, florist and courier, which increases the overall efficiency [2].

Currently, the market is seeing a great demand for the digitalization of the flower business due to the growing expectations of customers for speed and quality of service, as well as the need to reduce costs.

Despite the fact that there are universal programs for retail, they are partially not suitable

for the flower industry: the lack of tools for working with the shelf life of flowers, the ability to create compositions or convenient delivery management makes them less effective.

The developed web application is designed to overcome these problems.

It allows centralized management of orders and inventory, provides convenient tools for employees and couriers, and also carries out automated analytics for managerial decision-making, thus creating a pleasant and efficient environment for doing business [3].

Therefore, automation of order accounting using web technologies allows you to change the main processes of the flower enterprise, making them better, more organized and customer-oriented.

This is an important investment that aims to reduce costs, reduce losses due to spoilage of goods, increase customer satisfaction and create sustainable competitive advantages.

### References

1. Growth and digital transformation in floristry [Electronic resource] //Reviews of florists. 2024. – Access mode: : <https://floristsreview.com/main/industry-news/floristry-market-growth-trends-and-digital-transformation>
2. Inventory Management of Perishable Goods in Retail [Electronic resource] // Journal of Business Logistics. – 2023. Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jbl.12345>
3. ERP Software Market Analysis. 2024. [Electronic resource] // Research Grand View. – 2024. Access mode: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/erp-software-market>.
4. Floranext. [Electronic resource]. – Access mode: <https://floranext.com/>.
5. BloomNation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bloomnation.com/>.

## DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION TO SUPPORT THE PROCESS OF LEARNING FOREIGN LANGUAGES

The purpose of the study is to identify the possibilities of using web technologies to improve the efficiency and convenience of teaching foreign languages in the digital environment.

Due to the growing requirements for language training, the problem of the lack of interactive, accessible and flexible tools that would ensure the learning process and motivate the user to active practice becomes obvious.

Thus, traditional methods often become less effective due to the low level of interactivity, difficulty in controlling learning outcomes, and lack of emotional involvement, which leads to a rapid decrease in interest in classes [1].

One way to solve these problems is to use web technologies, which provide a stable basis for combining lessons with multimedia, gamification, automated control of results, and flexible content customization.

Considering the work of a modern web platform, it can be noted that automated training of some parts of the material increases motivation, and the ability to use the service on any device provides easy access to learning [2].

Real-time feedback and interactive exercises make web solutions the most flexible way to learn in today's fast-paced and ever-changing content environment.

The current growth in the popularity of learning foreign languages online is due to the spread of international interaction, the development of the global labor market and platforms, and the growth of the digital economy.

Although there are many learning apps, many users encounter problems with insufficient adaptation, lack of interactive elements or restricted access, so they reduce the frequency of practice.

Current research shows that the combination of multimedia, gamification, and the possibility of multiple learning without wasting time and resources helps to build motivation and positive

learning dynamics. That is why it is necessary to create accessible platforms that allow users to learn at their own pace, conveniently and regularly, regardless of what device they use.

The developed web application is aimed at supporting language practice thanks to interactive modules, a system of tests, the mechanics of unlimited "lives", which contributes to the repetition of tasks without penalties, and the ability to track your achievements in a user-friendly interface.

The presented application provides ease of use, accessibility, increases interest through game elements, and also creates an impactful, stress-free environment for users with different levels of knowledge [3].

Thus, the use of web technologies in teaching foreign languages allows you to make the learning process more flexible, dynamic and focused on the needs of students.

The results of the research confirm that the further development of web tools is a promising way to support independent learning and increase general language competence.

### References

1. Online Language Learning Market Size, Share & Trends [Електронний ресурс] // Grand View Research. 2024. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/online-language-learning-market-report>
2. Sendurur E. The effectiveness of online learning platforms in foreign language teaching / E. Sendurur [Електронний ресурс] // ResearchGate. 2022. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/364556899>.
3. EPAM Campus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://campus.epam.com/>.
4. Oracle Java Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.oracle.com/en/java/>.
5. Floranext. [Electronic resource]. – Access mode: <https://floranext.com/>.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ЗБІРКИ ФРОНТЕНД-ЧАСТИНИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ

В умовах стрімкого розвитку веб-технологій та зростання складності клієнтських застосунків, ефективність процесу збірки фронтенд-коду стає критично важливим фактором продуктивності розробки. Сучасні веб-застосунки складаються з тисяч модулів, компонентів та залежностей, які потребують трансформації, об'єднання та оптимізації перед розгортанням у виробничому середовищі. За даними дослідження State of JS, понад 90% розробників використовують спеціалізовані засоби збірки для автоматизації цього процесу. Час, який витрачається на збірку проекту, вимірюється секундами, однак через високу частоту ітерацій під час розробки, необхідність швидкого гарячого перезавантаження модулів (HMR) та вимоги до оптимізації виробничих збірок, вибір оптимального інструменту може суттєво вплинути на продуктивність команди та конкурентоспроможність бізнесу.

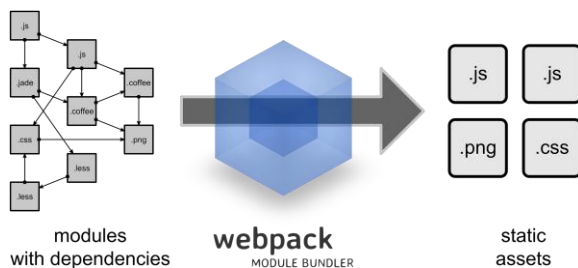


Рис. 1. Принцип роботи компонувальника модулів

Кожен засіб збірки має не тільки свої обмеження в оптимізації часу компіляції та компонування, але й особливості впровадження, підтримки та подальшого розвитку. Не існує єдиного ідеального рішення для всіх випадків, а отже при виборі інструменту збірки треба враховувати різні чинники та унікальність кожного проекту. Засоби збірки (build tools) — це програмне забезпечення, що автоматизує процеси компіляції, транспіляції, компонування модулів та мініфікації вихідного коду у готові для розгортання артефакти. Традиційний підхід до збірки, реалізований у Webpack, полягає у повному компонуванні всіх модулів застосунку перед запуском сервера розробки. На основі Webpack побудовано інструмент Create React App (CRA) — офіційне CLI-рішення від Meta для

створення React-проектів із нульовою конфігурацією.

JavaScript є найпопулярнішою мовою програмування у сфері веб-розробки: за даними W3Techs, понад 98% веб-сайтів використовують JavaScript на стороні клієнта. React, розроблений компанією Meta, є одним із найпоширеніших JavaScript-фреймворків для побудови інтерактивних користувацьких інтерфейсів. Ключовою особливістю React є компонентна архітектура, яка дозволяє створювати незалежні та повторно використовувані елементи інтерфейсу, а також використання віртуального DOM для ефективного оновлення сторінки без повного її перезавантаження. Саме для React-проектів питання вибору засобу збірки є найбільш актуальним, оскільки розробники працюють із великою кількістю компонентів, стилів та залежностей, що потребують швидкої обробки.

Попри зручність використання, CRA має суттєві обмеження, пов'язані з продуктивністю. Оскільки Webpack виконує повне компонування усіх модулів при кожному запуску, час збірки значно зростає для великих проектів із тисячами компонентів та залежностей. Крім того, CRA містить надмірну кількість попередньо встановлених пакетів та поліфілів, що призводить до збільшення розміру проекту та уповільнення процесу розробки. Ці проблеми стали причиною того, що у березні 2023 року команда React офіційно припинила рекомендувати CRA для створення нових застосунків, що поставило перед спільнотою розробників питання вибору альтернативного інструменту збірки.

Сьогодні розробники мають вибір між декількома інструментами збірки, серед яких особливе місце займає Vite — сучасний засіб збірки, створений Еваном Ю, автором фреймворку Vue.js. Vite використовує принципово інший підхід: замість повного компонування він спирається на нативні ES-модулі браузера та попередню збірку залежностей за допомогою esbuild — надшвидкого компонувальника, написаного мовою Go. Браузер бере на себе роль обробки модулів, а Vite лише трансформує та надає вихідний код за запитом. Це забезпечує

миттєвий запуск сервера розробки та практично миттєве гаряче перезавантаження модулів незалежно від розміру проєкту.

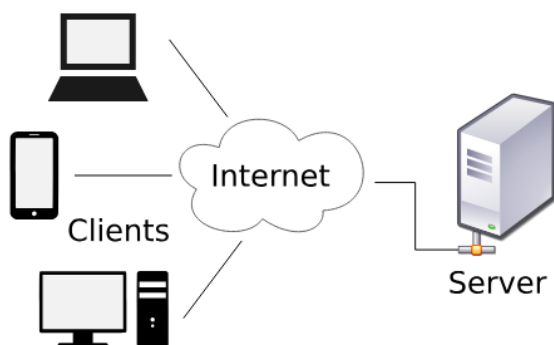


Рис. 2. Архітектура сервера розробки на основі компонувальника

Метою даної роботи є комплексне дослідження та порівняльний аналіз засобів збірки фронтенд-частини веб-застосунків на прикладі Create React App та Vite. Для цього будуть розглянуті ключові характеристики кожного із засобів збірки, їхні переваги та недоліки, а також проведено аналіз експериментального тестування на реальних сценаріях використання. У процесі дослідження будуть оцінені такі параметри:

- швидкість початкової збірки проєкту та запуску сервера розробки;
- час гарячого перезавантаження модулів (HMR);
- обсяг початкових файлів проєкту та фінального пакету ресурсів;
- продуктивність веб-сторінок за метриками Google Lighthouse;
- сумісність з різними фреймворками та платформами;
- особливості конфігурації, обмеження та рівень підтримки спільноти;
- підтримка сучасних стандартів ECMAScript та можливості роботи з TypeScript, CSS-препроцесорами і модульними системами;
- зручність розгортання застосунку у продакшн-середовищі та інтеграція з популярними CI/CD-платформами;
- стабільність роботи та поведінка інструментів при масштабуванні проєкту з великою кількістю модулів і залежностей.

Дослідження базується на підході, що поєднує аналіз наукової літератури, кількісне тестування продуктивності засобів збірки та якісний аналіз підтримки спільноти розробників. Популярність інструментів оцінюється за даними платформ GitHub, npm trends та Google Trends. Продуктивність засобів

збірки планується вимірювати шляхом порівняння часу збірки, швидкості запуску сервера розробки, часу HMR та розміру файлів проєкту. Для аудиту продуктивності веб-сторінок може бути використаний інструмент Google Lighthouse, який надає метрики First Contentful Paint, Speed Index, Largest Contentful Paint та Total Blocking Time. Такий комплексний підхід дозволяє отримати об'єктивну картину переваг та недоліків кожного з досліджуваних засобів збірки.

Для проведення експериментального дослідження планується створити ідентичні тестові React-проєкти, що містять однакову кількість компонентів, залежностей та обсяг вихідного коду. Тестування буде проводитись в однакових апаратних та програмних умовах з метою забезпечення об'єктивності результатів.

Висновки. Аналіз ефективності Create React App та Vite у контексті збірки фронтенд-частини веб-застосунків дозволяє зробити висновки про їхню придатність для різних сценаріїв розробки. Після офіційного припинення підтримки CRA командою React, вибір оптимального засобу збірки стає особливо актуальним і може суттєво вплинути на продуктивність розробки, що є критично важливим чинником для всього бізнесу.

## Список літератури

1. State of JavaScript Survey 2022. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://stateofjs.com/>
2. Roy, S. What is a Build tool? BrowserStack, 2023. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.browserstack.com/guide/build-tools>
3. Webpack Documentation. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://webpack.js.org/>
4. Create React App Documentation. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://create-react-app.dev/>
5. Vite: Next Generation Frontend Tooling. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://vitejs.dev/>
6. esbuild — An extremely fast bundler for the web. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://esbuild.github.io/>
7. Gurung, B. A comparative analysis of create-react-app (CRA) and Vite for React.js projects. Bachelor's Thesis. Naaga-Helia University of Applied Sciences, 2024. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.theseus.fi/handle/10024/860241>
8. React Documentation: Start a New React Project. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://react.dev/learn/start-a-new-react-project>
9. Rollup Documentation. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://rollupjs.org/>
10. Google Lighthouse Documentation. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/>

## ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ: ВПЛИВ НА МОТИВАЦІЮ СТУДЕНТІВ

Умови стрімкої цифрової трансформації освіти зумовлюють необхідність впровадження інноваційних технологій, здатних підвищити ефективність освітнього процесу в дистанційному форматі. Одним із перспективних напрямів є інтеграція систем штучного інтелекту (ШІ), які забезпечують можливість персоналізації навчання, адаптивного добору освітнього контенту та оперативного зворотного зв'язку зі здобувачами освіти. Використання таких технологій сприяє підвищенню якості навчання, рівня мотивації та активної участі студентів у навчальному процесі. У зв'язку з цим дослідження впливу систем штучного інтелекту на мотивацію та залученість студентів у дистанційному навчанні є актуальним і має важливе значення для подальшого розвитку сучасних освітніх практик. [1].

Метою дослідження є виявлення впливу використання систем ШІ у дистанційній освіті на рівень навчальної мотивації студентів технічних спеціальностей, а також дослідженні впливу використання систем SmartLearn.AI на залученість студентів під час онлайн-курсів.

Під час експерименту проводилося анкетування 124 студентів, які навчалися з використанням інтелектуальних освітніх платформ (ChatGPT, Coursera AI Tutor, Grammarly EDU). Аналіз даних показав суттєве підвищення рівня внутрішньої мотивації та зменшення кількості студентів із низьким рівнем залученості (табл. 1).

Як видно з даних табл. 1, використання систем штучного інтелекту сприяє суттєвому зростанню рівня внутрішньої мотивації студентів.

Це пов'язано з тим, що інтелектуальні інструменти забезпечують більш гнучкий, адаптивний і персоналізований підхід до навчання. Вони дозволяють студентам навчатися у власному темпі, отримувати

миттєвий зворотний зв'язок та бачити прогрес, що підсилює відчуття контролю над результатом.

Табл. 1

Динаміка показників навчальної мотивації студентів

Показник	До впровадження ШІ	Після впровадження ШІ
Внутрішня мотивація	54%	79%
Зовнішня мотивація	32%	18%
Відсутність мотивації	14%	3%

Крім того, ШІ сприяє зниженню зовнішньої мотивації, адже акцент переноситься з оцінок і вимог викладача на внутрішнє бажання здобувати знання. Відзначено, що студенти почали частіше звертатися до додаткових джерел інформації, ставити більше запитань у чатах і брати участь в онлайн-дискусіях.

Отримані результати узгоджуються з працями українських дослідників (Гончаренко, 2022; Ковальчук, 2023) [2, 3], які підкреслюють, що інтелектуальні технології здатні стимулювати пізнавальну активність, формувати саморегуляцію та підвищувати когнітивну зацікавленість студентів.

В системі вищої освіти дистанційне навчання набуло широкого поширення, однак однією з ключових проблем залишається зниження рівня залученості та активності студентів у навчальному процесі. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання інноваційних технологій, зокрема інтелектуальних систем підтримки навчання (Intelligent Tutoring Systems, ITS). Такі системи забезпечують можливість адаптації навчальних завдань до індивідуальних

потреб студентів, використання елементів гейміфікації та надання миттєвого зворотного зв'язку. Застосування зазначених підходів створює передумови для підвищення інтересу до навчання, активізації пізнавальної діяльності та покращення ефективності освітнього процесу в умовах дистанційної освіти. [4].

Протягом шести тижнів спостерігалось поступове підвищення активності студентів на платформі SmartLearn.AI (табл. 2).

Табл. 2

Показники залученості студентів під час використання системи SmartLearn.AI

Період спостереження	Активність (%)	Кількість виконаних завдань
1–2 тиждень	64	57
3–4 тиждень	81	72
5–6 тиждень	92	77

Як показує аналіз даних в табл. 2, впровадження системи SmartLearn.AI забезпечило стабільне підвищення навчальної активності студентів. Найбільший приріст відзначено у період із третього по шостий тиждень, що пов'язано з поступовою адаптацією користувачів до інтерфейсу системи та підвищенням рівня інтересу до навчальних завдань.

Додатково було зафіксовано збільшення кількості добровільних завдань, які студенти виконували без примусу, що свідчить про підвищення самостійності та інтересу до предмета.

Такі результати узгоджуються з висновками українських науковців (Мельник, 2021; Руденко, 2023) [5, 6], які наголошують, що використання технологій ШІ у вищій школі сприяє формуванню навичок самостійного навчання та розвитку критичного мислення.

Висновки. Дослідження підтвердило, що інтеграція систем штучного інтелекту у

дистанційне навчання має суттєвий позитивний вплив на мотивацію студентів. Застосування таких систем сприяє персоналізації освітнього процесу, адаптації навчальних завдань до індивідуальних потреб студентів та оперативному зворотному зв'язку, що підвищує рівень залученості та активності учасників навчального процесу.

Найбільш ефективним є комплексне поєднання можливостей ШІ з педагогічною підтримкою, яке забезпечує баланс між автоматизацією процесів і живою взаємодією зі студентами. Це дозволяє не лише оптимізувати освітній процес, а й формувати у студентів стійку мотивацію до самостійного навчання, розвиток критичного мислення та навичок самоорганізації.

Застосування інтелектуальних систем підтримки навчання дозволяє підвищити рівень залученості студентів, активізувати навчальний процес та підвищити якість дистанційної освіти. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення моделей інтеграції ШІ у традиційні навчальні середовища.

## Список літератури

1. Aljarrah A., Thomas R. AI-Driven Personalization in Online Learning: Motivation and Engagement Outcomes. *Computers & Education*, 2023.
2. Гончаренко С. М. Штучний інтелект у системі сучасної освіти: нові можливості та виклики. *Інформаційні технології в освіті*, №2, 2022.
3. Ковальчук І. П. Персоналізація навчального процесу засобами штучного інтелекту. *Освітній дискурс*, №4, 2023.
4. Holmes W., Bialik M., Fadel C. *Artificial Intelligence in Education*. Center for Curriculum Redesign, 2022.
5. Мельник О. В. Інтелектуальні технології у вищій школі: методичні аспекти. *Педагогічні інновації: теорія і практика*, №1, 2021.
6. Руденко Т. І. Використання штучного інтелекту для підвищення якості онлайн-освіти. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Педагогіка*, №3, 2023.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ХМАРНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Нефункціональне тестування також відоме як тестування продуктивності, оскільки воно дозволяє перевіряти нефункціональні аспекти програмного забезпечення, такі як його продуктивність, зручність використання та надійність [1].

Для проведення цього типу тестування можна використовувати хмарні інструменти, такі як CloudTest, AppPerfect, CloudTestGo та AppLoader.

Ці інструменти тестування пропонують такі типи нефункціонального тестування:

-тестування бізнес-вимог. Цей тип тестування перевіряє, наскільки точно програма відповідає зазначеним бізнес-вимогам. Він також включає тестування хмарної доступності, яке гарантує відсутність часу простою програми;

-тестування безпеки. Цей тип тестування необхідний для забезпечення безпечного зберігання та передачі даних. Механізми безпеки додатків тестуються відповідно до трьох критеріїв:

- ефективність;
- точність;
- продуктивність.

Найбільш популярними інструментами для тестування безпеки у хмарі є Nmap, Nessus та Wireshark.

-масштабованість та тестування продуктивності.

Хоча хмарні рішення мають бути масштабованими на вимогу, цей тип тестування гарантує, що додаток буде працювати правильно з різною кількістю користувачів [2]. Під час навантажувальних випробувань тестери вимірюють час відгуку програмного забезпечення, тоді як система піддається збільшенню навантаження.

Також необхідно перевірити, як додаток буде працювати при надмірному стресі, тому також необхідно виконати стрес-тестування [3].

Якщо необхідно виміряти затримку відповіді програми після його розгортання у хмарі, можна провести тестування латентності. Тестування працездатності необхідне для перевірки того, чи дійсно користувачі отримують прикладні послуги з вимоги [4].

Щоб перевірити це, команда тестування може проводити наступні типи тестування:

- тестування на сумісність;
- сумісність програми з різними середовищами та платформами;

-аварійне відновлення, дозволяє оцінити час аварійного відновлення та переконатися, що програма знову стає доступним користувачам з мінімальною втратою даних;

-багаторівневе тестування.

Це тестування перевіряє, чи може додаток забезпечити достатній рівень безпеки та контрольно доступу, коли якісь користувачів звертаються до нього у хмарі.

Перераховані вище тести хмарних додатків можуть мати різні цілі та результати тестування [5].

Результати цього дослідження демонструють значний практичний потенціал для розвитку сучасних цифрових технологій.

### Список літератури

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>.
2. Токарев В., Льїна І., Шевченко І., Грищенко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110.
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Plyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6.
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Льїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК ХМАРНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Піраміда автоматизованого тестування запропоновано М. Коном, який представляв процес автоматизації системи та перевірки програмного забезпечення у формі піраміди [1]. Піраміда автоматизованого тестування складається з наступних основних шарів (знизу-вгору):

- автоматизоване тестування модулів;
- автоматизоване інтеграційне тестування;
- автоматизоване наскрізне (end-to-end) тестування.

Наскрізне тестування знаходиться на самій вершині піраміди тестування, а модульне тестування утворює її основу. Верхній компонент піраміди також включає тести користувача інтерфейсу [2]. Елементи цієї піраміди відрізняються один від одного розміром, оскільки вони містять різну кількість тестових випадків, необхідних для виконання того чи іншого типу тестування. Крім того, на вершині піраміди є хмара [3]. Саме ручне тестування подається у вигляді хмари, оскільки воно не є невід'ємною та обов'язковою частиною піраміди.

Така піраміда типова для тестування програмного забезпечення. Але є багато модифікацій. Все залежить від типу програми, що тестується. Складові елементи піраміди, а також їх розташування можуть бути змінено. Іноді піраміда може бути змінена повністю [4].

Хмарний тест SOASTA розгортається як сервіс на вимогу, використовуючи хмару для фундаментальної створення навантаження веб-сайтів. Він включає послуги, що надаються тестувальниками навантаження, та платформу Global Cloud Test Platform, яка забезпечує крос-хмарну інфраструктуру для створення навантаження.

Всередині програми бібліотеки з відкритим вихідним кодом є частиною пропозиції, що використовується у всьому продукті для забезпечення різноманітних функцій. SOASTA надає програмне забезпечення як частину сервісу. У той час як клієнти можуть використовувати програму SOASTA для створення та виконання тестів, платформа Global Cloud Test Platform створена для підтримки додаткових інструментів, включаючи Apache JMeter, найбільш популярний інструмент для тестування навантаження з відкритим вихідним кодом. Платформа SOASTA зменшує складність та час розгортання сценаріїв JMeter у хмарі, що значно полегшує спільноті JMeter створення, розгортання, виконання та

аналіз тестів навантаження та продуктивності у масштабах мережі. Скрипти JMeter працюють без змін. Після формування тесту SOASTA необхідно забезпечити керування та підготовку серверів та проведення тесту. Технологія забезпечення в реалізації SOASTA є однією з ключових особливостей платформи. У міру появи нових API, в тому числі альтернатив з відкритим вихідним кодом, таких як libCloud, SOASTA використовуватиме їх для розширення охоплення Global Test Cloud.

Перераховані вище методики хмарних додатків можуть мати різні цілі та результати тестування [5].

Результати цього дослідження демонструють значний практичний потенціал для розвитку сучасних цифрових технологій.

### Список літератури

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>.
2. Токарев В., Лїна І., Шевченко І., Грищенко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110.
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6.
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Лїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088.

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

Стрімкий розвиток та масове поширення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у цивільній та військовій сферах створюють нові виклики для систем моніторингу повітряного простору. Однією з ключових проблем наявних систем є висока ймовірність хибних спрацювань через візуальну подібність дронів до птахів. Це особливо помітно на значних відстанях або в умовах складної видимості. У цьому контексті актуальним стає застосування методів штучного інтелекту, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), які здатні автоматично виділяти багаторівневі ознаки зображень для точної ідентифікації об'єктів [1].

Ця робота присвячена розробленню та навчанню прототипу нейронної мережі для бінарної класифікації зображень за категоріями «дрон» та «птах».

У ході дослідження було проаналізовано сучасні архітектури глибокого навчання та порівняно два підходи: створення власної спрощеної моделі CNN та використання методу Transfer Learning на базі попередньо натренованої мережі MobileNetV2. Вибір останньої обумовлений необхідністю балансу між точністю та обчислювальною ефективністю, що є критичним для систем реального часу [2].

Для проведення експериментальної частини використано відкритий набір даних «Drone vs Bird» з платформи Kaggle, [3] який через наявність шумів та дисбаланс класів піддався суттєвому доопрацюванню, включаючи ручне очищення. Для усунення дисбалансу та підвищення якості навчання застосовано методи аугментації (повороти, відзеркалення, масштабування), а всі зображення нормалізовано та приведено до стандарту 224×224 пікселі. Навчання проводилося з використанням адаптивного оптимізатора Adam та функції втрат binary cross-entropy.

Результати тестування засвідчили значну перевагу підходу Transfer Learning. Модель на основі MobileNetV2 досягла загальної точності (Accuracy) 93,4%, тоді як власна архітектура показала результат 85,3%. Крім того, модель MobileNetV2 продемонструвала високі показники додаткових метрик: точність прогнозу (Precision) склала 94,1%, повнота (Recall) – 92,0%, а F1-міра – 93,0% [4]. Аналіз матриці плутанини показав, що

основна частка помилок припадає на складні умови освітлення або часткове перекриття об'єктів. Це узгоджується з дослідженнями інших авторів щодо легковагових мереж [5].

З метою забезпечення практичного застосування та масштабованості розробленого рішення запропоновано хмарну архітектуру в середовищі Microsoft Azure. Реалізація включає контейнеризацію моделі за допомогою Azure Container Instances та розробку REST API на базі фреймворку Flask. Такий підхід дозволяє інтегрувати систему з зовнішніми джерелами відеопотоку та отримувати результати класифікації у форматі JSON. Це відбувається в режимі реального часу, забезпечуючи гнучкість розгортання незалежно від локальних обчислювальних потужностей [6].

Таким чином, результати роботи підтверджують ефективність використання оптимізованих CNN архітектур для виявлення польотів БПЛА, що несанкціоновані або несуть загрозу.

### Список літератури

1. Bouguettaya A., Zazour H., Kechida A., Taberkit A. M. A review on drone detection and tracking using deep learning techniques // Sensor Review. – 2022. – Vol. 42(1). – P. 59–75. – DOI: <https://doi.org/10.1108/SR-03-2021-0097>
2. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L.-C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks // Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2018. – P. 4510–4520. – DOI: <https://arxiv.org/abs/1801.04381>
3. Kaggle Dataset: Drone vs Bird Detection [Електронний ресурс]. – Kaggle, 2022. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/datasets/harshwalia/birds-vs-drone-dataset>
4. Chollet F. Deep Learning with Python. – Manning Publications, 2017. – P. 145–182. – DOI: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3203489>
5. Chen J., Li Y., Wu J. Comparative Analysis of Lightweight Convolutional Neural Networks for Drone-vs-Bird Classification // Drones. – 2022. – Vol. 6(9). – P. 245. – DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6090245>
6. Azure Container Instances Overview [Електронний ресурс]. – Microsoft Learn, 2024. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/container-instances>

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЧОРНОЇ СКРИНЬКИ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Постійне зростання використання додатків, насичених мультимедійними даними, призводить до того, що все більше користувачів частіше стикаються з низькою якістю обслуговування. Хмарний дата-центр має найкращу можливість вирішити дану проблему завдяки еластичності смуги пропускання.

Щоб забезпечити якісну доставку додатків, пристрої захисту периметра, такі як брандмауери, системи запобігання вторгненням, уніфіковані системи управління загрозами та шлюзи VPN можуть бути протестовані з використанням поєднання реального трафіку додатків та шкідливих програм для визначення ефективності, точності та продуктивності безпеки. Пікові емоції та швидкості з'єднання/ транзакції / тунелю (IPsec) можна оцінити для вибору постачальника та налаштування мережі.

Будь-яка публічна або приватна хмара потребує дотримання якості обслуговування від порту входу глобальної мережі по всьому шляху до окремих віртуальних машин.

Необхідно протестувати архітектуру обчислювальної платформи та додатків, які можуть охоплювати безліч фізичних та віртуалізованих серверів, використовуючи величезний обсяг трафіку між центрами обробки даних, а також величезний обсяг зустрічних відео-сесій. Водночас необхідно констатувати недостатність робіт, присвячених розробці методичного забезпечення процесу хмарного тестування ПЗ.

У хмарному тестуванні застосовуються класичні методи тестування [1]. Метод чорної скриньки, також відомий як поведінкове тестування є методом тестування ПЗ, в якому внутрішня структура, дизайн та реалізація тестованого ПЗ не відомі тестувальнику [2].

Ці тести можуть бути як функціональними (переважно), так не дисфункційними [3]. Методика тестування за методом чорної скриньки є опис процедури отримання та/або вибору тест-кейсів на основі аналізу специфікації, функціонального чи нефункціонального опису компонента чи системи без посилання з його внутрішню структуру [4].

Тестування за методом білої скриньки (також відоме як прозоре тестування, тестування на основі коду або структурне тестування) – це метод тестування ПЗ, в якому внутрішня

структура, дизайн та реалізація тестованого елемента відомі тестувальнику.

Тестування білої шухляди - це тестування, що виходить за рамки інтерфейсу користувача і в найдрібніших подробицях системи. Тестування за методом сірої скриньки - це метод тестування, який являє собою комбінацію методів чорного та білого ящиків [5].

Ці знання включають доступ до внутрішніх структур даних і алгоритмів для цілей розробки тестових випадків, хоча тестування проводиться на рівні користувача або чорної скриньки. Вибір того чи іншого методу тестування визначається особливостями використовуваної методики хмарного тестування.

Результати цього дослідження демонструють значний практичний потенціал для розвитку сучасних цифрових технологій.

### Список літератури

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>.<https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15.pdf>.
2. Токарев В., Ільїна І., Шевченко І., Гриценко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110.
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6.
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Ільїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ХМАРНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Величезний обсяг трафіку проходить між програмами в центрі обробки даних на окремих фізичних серверах (зі сходу на захід) [1].

Оскільки тисячі користувачів одночасно отримують доступ до контенту/програм з Інтернету (з півночі на південь), вам необхідно перемикає рівні, які можна масштабувати [2].

Тестування має перевірити масштабованість та відмовостійкість мережевих доменів. Оскільки оператори центрів обробки даних стикаються з проблемою підтримки IPv6 у центрі обробки даних, необхідно виробити раціональні рішення [3].

Архітектура хмарних обчислень, як і будь-який інший додаток або програмне забезпечення, складається з двох основних розділів:

- front-end;
- back-end.

Front end - це клієнт або будь-яка програма, що використовує хмарні послуги.

Back-end - це мережа клієнтських машин із серверами, що мають комп'ютерну програму та систему зберігання даних.

Хмара має централізований сервер для адміністрування системних клієнтів, запитів тощо. Після розробки користувальницьких сценаріїв, розробки та виконання тіста [4].

Після завершення тесту постачальник хмарних послуг надає результати та аналітику корпоративним ІТ-фахівцям через інформаційні панелі в реальному часі для повного аналізу їх роботи додатків у періоди пікових навантажень.

Розглянемо особливості функціонального тестування хмарного програмного забезпечення. Функціональне тестування ПЗ перевіряє всі функції програмного забезпечення та його взаємодія з обладнанням [5].

Для проведення функціональних випробувань тестувальники можуть використовувати такі інструменти, як Rapise, Sauce Labs та TimeShiftX.

Ці хмарні інструменти тестування програмного забезпечення використовують такі методи:

-тестування системи. Цей метод тестування оцінює відповідність системи функціональним та системним вимогам;

-приймальні випробування. Це доводить, що додаток задовольняє певні потреби користувачів;

-інтеграційне тестування. Це тестування гарантує, що програма сумісна з різними

платформами і добре працює при переході від однієї хмарної інфраструктури до іншої.

Функціональне веб-тестування може виконуватись як вручну тестувальником, так і автоматично з використанням програмного забезпечення. Інструменти функціонального тестування програмного забезпечення, які використовуються для тестування звичайних додатків, мають бути переоцінені стосовно додатку тестування, розміщеного в хмарі. Це важливо, оскільки необхідні інструменти, що дозволяють інженерам-тестувальникам аналізувати мережу, робочий стіл та наслідки змін у хмарі.

Результати цього дослідження демонструють значний практичний потенціал для розвитку сучасних цифрових технологій.

### Список літератури

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariiev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk. Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>.<https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15.pdf>.
2. Токарев В., Ляїна І., Шевченко І., Грищенко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110.
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6.
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Ляїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088.

## СИСТЕМА ПОПЕРЕДНЬОГО АНАЛІЗУ АКАДЕМІЧНИХ ЗВІТІВ

Програми вищої освіти часто передбачають створення структурованих академічних звітів, таких як лабораторні, проектні тощо. Ці звіти мають відповідати певним вимогам щодо вмісту, послідовності розділів та форматування.

Однак їх ручний аналіз є трудомістким та не завжди послідовним.

Найвні автоматизовані засоби здебільшого зосереджені на виявленні плагіату і виправленні граматики та стилю. Вони не забезпечують перевірку структури розділів звітів та надання глибокого семантичного зворотного зв'язку.

З появою великих мовних моделей (ВММ) з'явилася можливість заповнити цю прогалину. ВММ здатні генерувати складний семантичний зворотний зв'язок щодо чернеток звітів [1]. Це може допомогти студентам удосконалити їхні роботи перед перевіркою викладачем. Хоча ВММ і мають розширені можливості, їх неконтрольоване використання для академічного оцінювання часто ускладнюється систематичною упередженістю та непослідовністю [2].

Щоб подолати ці обмеження, було розроблено вебзастосунок Human-Aligned Rubric and Review System (HARRS) для самооцінювання студентських звітів. Він має гібридну архітектуру, яка поєднує детерміновану логіку на основі правил та контрольований генеративний шар зворотного зв'язку.

HARRS використовує єдину рубрику, яка визначає вимоги до всіх академічних звітів. Основна інновація системи полягає у архітектурному розподілі роботи. Тут рубрика керує двома окремими шарами: детермінованим шаром на основі правил (ШОП) та семантичним шаром на основі великих мовних моделей (ВММШ).

HARRS працює як послідовний двоступінчастий конвеєр, де вихід ШОП слугує контекстним входом для ВММШ. Діаграма компонентів UML (рис. 1) показує структурні елементи системи та їхню взаємодію.

Артефакт AcademicReport.docx репрезентує вхідний академічний звіт. Головний компонент, HARRS, складається з двох ключових підсистем: ШОП та ВММШ. ШОП забезпечує інтерфейс, позначений як IPayload. Він використовується ВММШ для обробки структурованого JSON-повідомлення від ШОП.

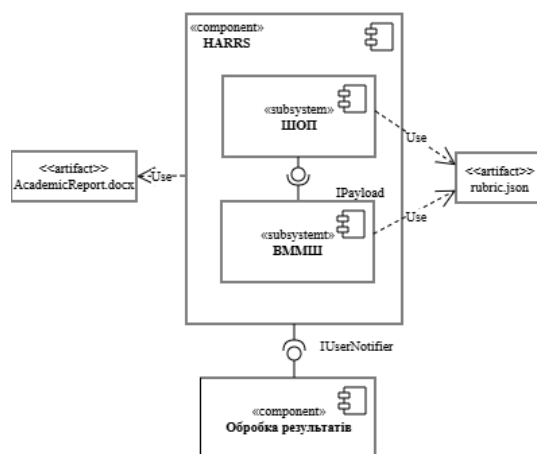


Рис. 1. Архітектура HARRS

Після завершення аналізу компонент HARRS потребує інтерфейсу IUserNotifier для публікації висновків та рекомендацій щодо вдосконалення звіту. Цей інтерфейс надає компонент <<Обробка результатів>>, який відповідає за доставку результатів аналізу до інтерфейсу користувача. Підсистеми ШОП та ВММШ використовують зовнішній файл рубрики (артефакт rubric.json).

Висновки. Обмеження генеративного ШІ рамками визначеної людиною рубрики, може перетворити ВММ на надійний механізм розширеного зворотного зв'язку. HARRS дотримується філософії «людина в циклі», що забезпечує залишення навчальних стандартів під контролем викладацького складу. Результати дослідження свідчать, що гібридний підхід забезпечує надійний механізм для підвищення саморегуляції студентів вищих навчальних закладів.

## Список літератури

1. Shi, H. & Aryadoust, V. A systematic review of AI-based automated written feedback research. *ReCALL*, 36(2), 2024, p. 187-209. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1017/S0958344023000265>.
2. Yeung, S. A comparative study of rule-based, machine learning, and large language model approaches in automated writing evaluation (AWE). *Proceedings of the 15th International Learning Analytics and Knowledge Conference*, 2025, p. 984 – 991. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1145/3706468.3706566>.

## **BLOCKCHAIN-BASED ELECTRONIC VOTING SYSTEMS: ARCHITECTURE, SECURITY MECHANISMS, AND EXPERIMENTAL EVALUATION**

The rapid digitalization of modern society is driving the active adoption of information technologies in public administration and collective decision-making processes. One of the most complex and socially significant directions in this context is the development of electronic voting systems that must simultaneously ensure transparency in vote counting, voter confidentiality, data integrity, and resistance to external interference. Traditional centralized electronic voting systems are characterized by several structural limitations, among which the most critical are a single point of failure, dependence on a centralized administrator, insufficient transparency for independent auditing, and increased vulnerability to cyberattacks. These challenges have led to growing interest in blockchain technology as a foundation for the next generation of secure digital voting platforms.

The rapid digitalization of modern society is driving the active adoption of information technologies in public administration and collective decision-making processes. One of the most complex and socially significant directions in this context is the development of electronic voting systems that must simultaneously ensure transparency in vote counting, voter confidentiality, data integrity, and resistance to external interference. Traditional centralized electronic voting systems are characterized by several structural limitations, among which the most critical are a single point of failure, dependence on a centralized administrator, insufficient transparency for independent auditing, and increased vulnerability to cyberattacks. These challenges have led to growing interest in blockchain technology as a foundation for the next generation of secure digital voting platforms [1].

Blockchain technology provides a distributed ledger mechanism in which all transactions are recorded as a sequence of cryptographically linked blocks. Each block contains a hash of the previous block, which creates an immutable chain of records. This structure ensures that any attempt to modify previously recorded data results in a change of the corresponding cryptographic hash, thereby revealing unauthorized modifications. As a result, blockchain-based systems inherently provide high levels of data integrity and transparency. In addition, the distributed nature of blockchain networks eliminates centralized control over stored information, allowing independent verification of voting results by multiple participants within the network [2].

The research focuses on the architectural principles and technological mechanisms required to

implement a secure blockchain-based electronic voting system. Particular attention is devoted to integrating cryptographic authentication methods, smart contract technologies, and consensus algorithms that ensure network nodes agree on the validity of transactions. Cryptographic mechanisms play a crucial role in guaranteeing the authenticity and integrity of votes. In particular, the use of the Keccak-256 hashing algorithm ensures the immutability of stored data, while the ECDSA-secp256k1 digital signature scheme allows secure verification of voter identities without revealing personal information [3]. Through these mechanisms, each vote can be cryptographically verified while preserving voter anonymity, a fundamental requirement for democratic voting procedures.

The study also examines the role of consensus algorithms in distributed voting networks. Different blockchain platforms employ different consensus mechanisms to ensure agreement among participating nodes. Algorithms such as Proof-of-Work and Proof-of-Stake are widely used in public blockchain systems; however, they may introduce significant computational overhead or latency. For controlled environments such as electronic voting systems, a more efficient approach is the Proof-of-Authority consensus mechanism [4]. This algorithm relies on a predefined set of trusted validator nodes whose identities are verified in advance. Because block generation does not depend on computational competition or token ownership, the network can achieve significantly lower transaction confirmation times and more predictable throughput.

An experimental evaluation was conducted to assess the performance, reliability, and security properties of the proposed architecture. During testing, several critical system properties were analyzed, including transaction processing speed, resistance to duplicate voting attempts, and the accuracy of vote-counting mechanisms implemented through smart contracts. The results demonstrate that the system maintains stable operation even under increased load conditions. The smart contract logic effectively prevents repeated voting attempts by verifying the uniqueness of voter identifiers and rejecting duplicate transactions. Additionally, no inconsistencies were observed between the vote counts generated by the smart contract and independently verified results, confirming the reliability of the implemented vote-counting algorithm.

Performance measurements obtained during the experimental phase indicate that the prototype system



can process approximately 28 transactions per second under typical operational conditions. This throughput level demonstrates that blockchain-based voting solutions can support moderate-scale voting scenarios while maintaining high reliability and transparency. The system's decentralized architecture ensures that recorded voting data remains publicly verifiable while protecting the confidentiality of individual voter identities. Furthermore, the use of distributed ledger technology significantly reduces the risk of unauthorized manipulation of voting records, since altering historical data would require compromising multiple nodes simultaneously [2].

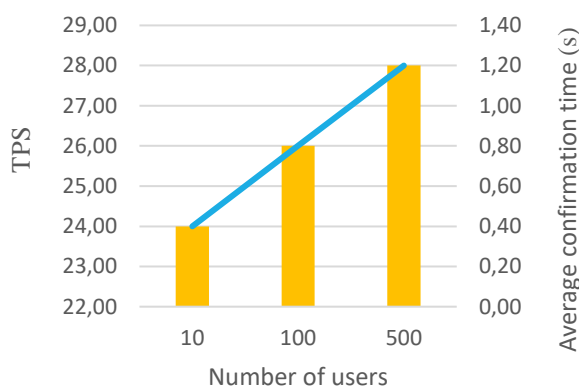


Fig. 1. The experimental modeling results

Another important aspect of the proposed architecture is the extensive use of smart contracts to automate the core stages of the voting process. Within the system, smart contracts perform several key functions, including voter registration, transaction validation, vote recording, and automatic calculation of final results once the voting period ends. By embedding these procedures directly into the blockchain network, the system eliminates the need for centralized administrative control during vote counting. This automation significantly reduces the risk of human error and ensures that all operations are executed strictly in accordance with predefined algorithmic rules.

The conducted experiments demonstrate that blockchain technology can serve as a reliable foundation for secure electronic voting systems. The combination of a distributed ledger architecture, cryptographic authentication mechanisms, and automated smart contract logic provides a powerful framework for implementing transparent, tamper-resistant voting platforms. In addition, adopting a consortium blockchain model with a Proof-of-Authority consensus mechanism enables a balance between security, performance, and governance control.

An additional direction of the research involved evaluating the scalability potential of the proposed system architecture. As the number of voters increases, the system must maintain stable performance characteristics while preserving data integrity and security guarantees. The conducted modeling experiments indicate that the modular

structure of the blockchain network allows horizontal scaling through the addition of validator nodes and optimization of transaction processing pipelines. This property is particularly important for large-scale voting scenarios where thousands or even millions of users may participate simultaneously.

Another important research aspect concerns the transparency and auditability of the voting process. Since every transaction recorded in the blockchain ledger is publicly verifiable, independent observers can validate the correctness of vote-counting procedures without privileged access to internal databases. This property significantly increases trust in the system, especially in contexts where transparency in democratic processes is critical. At the same time, the use of cryptographic techniques ensures that individual voters' anonymity remains fully protected.

The main outcomes of the research confirm that blockchain-based electronic voting systems can significantly increase trust in digital voting infrastructure. The proposed architectural approach ensures transparency in vote counting, protects voter anonymity, and resists unauthorized data modification. At the same time, the use of smart contracts enables the automation of all major voting procedures and ensures deterministic execution of system logic. These characteristics make blockchain-based voting platforms promising tools for implementing secure digital decision-making mechanisms in governmental institutions, corporate governance systems, and various forms of electronic democracy.

Overall, the results demonstrate that integrating blockchain technologies into electronic voting infrastructure provides a viable pathway to creating reliable and transparent digital voting systems. Further research may focus on improving scalability, optimizing consensus mechanisms, and developing advanced privacy-preserving protocols to enable such systems to support large-scale national elections while maintaining strict security guarantees and public verifiability [5].

## References

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008. 9 p.
2. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends // IEEE International Congress on Big Data. Honolulu, USA, 2017. P. 557–564.
3. Antonopoulos A. M., Wood G. Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 414 p.
4. De Angelis S., Aniello L., Lombardi F., Margheri A., Sassone V. PBFT vs Proof-of-Authority: Applying the CAP Theorem to Permissioned Blockchain // Italian Conference on Cybersecurity (ITASEC). Milan, Italy, 2018. P. 1–10.
5. Swan M. Blockchain: Blueprint for a New Economy. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. 152 p.

## COLLECTION AND VISUALIZATION OF STATISTICAL DATA FROM IT RESOURCES FOR LABOR MARKET ANALYSIS

In the modern socio-economic context, the HR strategy of an enterprise appears as a flexible and multi-level tool that allows the organization to effectively adapt to changes in the internal and external environment. This forces companies to reconsider their approaches to human capital management, in particular, to focus on creating attractive working conditions, investing in professional training of young specialists and improving mechanisms for internal promotion of personnel. During crises or economic instability, companies often change their approaches to human resource management - they reduce personnel costs, switch to flexible forms of employment or refocus on retaining key employees through motivational programs. In stable periods, on the contrary, the emphasis shifts to the development and expansion of human resources potential, the introduction of loyalty programs and the attraction of new personnel. One of the key factors shaping modern HR strategy is technological development. The digitalization of management processes is gradually changing classical approaches to organizing work with personnel. By using innovative IT solutions in the areas of recruitment, performance assessment and human capital management, companies are able to reduce the burden on administrative staff and refocus resources on solving long-term tasks. Such a transformation leads to an increasing need for personnel who are able to quickly adapt to new conditions, master modern tools and continuously improve their professional competence. The modern labor market in the field of information technologies is characterized by high dynamics of development, rapid change of technological trends and constant growth of requirements for qualification of specialists. The active development of such areas as artificial intelligence, cloud technologies, big data, cybersecurity, DevOps and automation of software development leads to the emergence of new professional roles and transformation of traditional specialties in the field of software engineering. In such conditions, a systematic analysis of labor market trends becomes an important task, which allows to assess the current state of the industry and predict further changes in the demand for specialists. Effective monitoring of the labor market is of great importance for different groups of users. For IT companies, it allows to more accurately form personnel policy, determine optimal recruitment strategies and plan personnel development. For educational institutions, the results of labor market

analysis can be used to update curricula, adjust the content of educational disciplines and adapt educational standards to the current needs of the industry. For industry professionals themselves, such information is an important source for career planning, identifying promising technologies for studying and forming competitive professional competencies. Traditional methods of labor market analysis are usually based on manual collection of information from various sources, in particular, job sites, analytical reports of recruiting companies, results of industry research and professional communities. However, this approach has a number of disadvantages. First, manual collection of information is quite laborious and requires significant time. Second, information on the IT market changes very quickly, which makes it difficult to maintain the relevance of the results obtained. Third, manual processing of large volumes of data increases the risk of errors and subjective interpretations. In this regard, a relevant area of research is the development of methods for automated collection, processing and visualization of statistical data from web resources containing information on vacancies, professional requirements, salary levels and other characteristics of the labor market. The use of automated data analysis systems allows to significantly increase the efficiency of analytical activities and to ensure prompt receipt of relevant information. The main sources of data for labor market analysis can be specialized web portals with vacancies, professional social networks, analytical platforms, results of international surveys of software developers, as well as open statistical resources. These sources contain a significant amount of information about job titles, a list of required technologies, work experience requirements, salary level, employment format and geographical location of jobs. The process of collecting and analyzing statistical data from IT resources can be presented as a sequence of interconnected stages. The first stage is data collection, which is carried out using web scraping technologies or the use of open application programming interfaces. Web scraping involves automatically obtaining information from web pages by analyzing the structure of HTML documents. To implement this approach, Python programming language tools are used, in particular the Requests and BeautifulSoup libraries. Requests provides the ability to send HTTP requests to web servers and retrieve web pages, while BeautifulSoup allows you to parse HTML code and highlight the necessary page elements. The second stage is data preprocessing. Data



received from different sources may have different presentation formats, contain duplicates, missing values, or inaccuracies. Before performing the analysis, it is necessary to perform data cleaning and normalization procedures. This process includes removing duplicate records, standardizing technology names, normalizing job titles, and converting text values into a structured format. To perform these operations, the Pandas library is used, which provides effective tools for working with tabular data and allows filtering, grouping, and aggregation of information. The third stage is analytical data processing, which involves the use of statistical methods and data analysis algorithms. The most popular specialties, the popularity of programming languages and software platforms, the average salary level for different categories of specialists, and the ratio of supply and demand in the labor market can be determined. Additionally, regional market features can be analyzed, such as the concentration of vacancies in cities or countries. Of particular interest is the analysis of technology stacks that are most often found in vacancies. Such analysis allows you to identify the most popular combinations of technologies used in modern software projects. For web development, these can be combinations of the programming languages JavaScript, Python or Java with the frameworks React, Angular or Django. The fourth stage is visualization of the analysis results. Visualization is an important tool for presenting statistical data, as it allows you to significantly simplify their interpretation and identify patterns. The Matplotlib, Seaborn, and Plotly libraries can be used to build graphical representations. Matplotlib provides basic capabilities for building graphs, Seaborn allows you to create more complex statistical visualizations, and Plotly provides the creation of interactive graphs and analytical panels. Interactive panels (dashboards) allow users to analyze data in real time, change filtering parameters, select time periods or regions for analysis. To create such panels, specialized BI tools can be used, in particular Power BI or Tableau, as well as software solutions based on the Dash or Streamlit libraries. An important direction in this development is the use of methods for processing unstructured data. A significant part of the information about vacancies is contained in text descriptions of job duties, requirements for candidates, and working conditions. Analysis of such text data allows you to get a deeper understanding of the real needs of employers. Natural Language Processing (NLP) methods can be used to process text data. The use of such methods allows you to automatically highlight keywords, determine the frequency of mentions of technologies, analyze the context of the use of certain terms, and classify vacancies by thematic categories. The implementation of such tasks is possible using the NLTK or SpaCy libraries, which provide a wide range of tools for linguistic analysis of texts. The use of NLP technologies allows you to identify hidden trends in the development of the labor market. For example, it is possible to determine the growth of demand for certain skills or technologies even before they become widely represented in

statistical reports. In addition, it is possible to analyze the requirements for so-called “soft skills” such as communication skills, the ability to work in a team, or project management skills. Automation of the collection and analysis of statistical data has significant advantages compared to traditional methods. First, it allows you to significantly reduce the time for preparing analytical reports. Secondly, it provides the possibility of regular data updating and constant monitoring of changes in the labor market. Thirdly, the use of data analysis algorithms allows you to identify complex patterns that may be invisible during manual analysis. The results of collecting and analyzing statistical data can be used to forecast the development of the IT labor market. For example, analyzing the dynamics of demand for certain technologies allows you to predict their further popularity and determine the directions of development of professional competencies of specialists. The expected results of implementing the proposed model are: ensuring prompt access to current statistical data on the state of the IT labor market; increasing the efficiency of analytical activities in the field of personnel management; the possibility of rapid adaptation of educational programs to the needs of the IT industry; improving recruitment and human resource management strategies; increasing the validity of management decisions in the field of personnel policy. The results of the study can be used to create decision support systems in HR departments of companies, recruitment agencies and educational institutions. Such systems allow you to automatically generate analytical reports, identify key market trends and predict the needs of specialists in certain specialties.

Thus, the use of modern technologies for collecting and analyzing data, in particular web scraping, statistical processing and natural language processing methods, allows you to create effective tools for analyzing the labor market in the field of information technology. Automation of these processes helps to increase the accuracy of analytical assessments, ensures the efficiency of obtaining information and creates the prerequisites for more effective planning of the development of the IT industry.

## References

1. Mitchell R. Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web / R. Mitchell. - O'Reilly Media, 2018. - 308 p.
2. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython / W. McKinney. - O'Reilly Media, 2022. - 580 p.
3. Stack Overflow Developer Survey Results 2024 [Electronic resources]. - Access mode: <https://survey.stackoverflow.co/2024/>.
4. Прасол Н.С. Зв'язок між візуалізацією даних та прийняттям рішень: аналіз та вплив візуалізації для розуміння інформації / Н.С. Прасол, Д.В. Фуріхата, А.Ю. Левченко // Технічна інженерія. - 2024.- 1 (93). - С. 233-239.



## SYSTEMATIZATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR ASSESSING FINANCIAL RELIABILITY IN FINANCIAL SCORING TASKS

The relevance of the task of increasing the accuracy of assessing the financial reliability of clients is due to the rapid growth of credit risks and intensive digitalization of financial services. Modern conditions dictate the need to transition from traditional statistical approaches to advanced machine learning methods capable of detecting complex nonlinear dependencies in large arrays of heterogeneous data. The development of machine learning algorithms in recent years is characterized by the emergence of a significant number of heterogeneous methods, each of which has unique characteristics and scope. Such diversity creates the need for careful comparative analysis and classification of algorithms in accordance with the specifics of financial scoring tasks, which includes processing high-dimensional data, working with class imbalance and ensuring interpretability of results. Within the framework of the credit scoring task, the key stage is the construction of a model capable of classifying clients by the level of financial reliability. From a technical point of view, this task belongs to the category of binary classification, where the object (borrower) belongs to one of two classes: "reliable" or "unreliable".

Machine learning models allow you to automate the decision-making process, taking into account a wide range of features - from financial indicators to behavioral characteristics. Unlike traditional expert systems, ML algorithms are able to detect complex relationships between variables, adapt to new data and provide high forecasting accuracy.

Logistic regression remains the fundamental method of binary classification in financial scoring tasks, despite the emergence of more complex algorithms. Its main advantage is the high interpretability of the results - the model provides a clear probability of belonging to the object to the "reliable/unreliable client" class, which is critical for decision-making in the financial sector. The mathematical foundations of the method are based on the sigmoid function, which transforms a linear combination of input features into a probability from 0 to 1. The key advantages of logistic regression in the context of financial scoring include: balance between predictive accuracy and interpretability of results, stability and unbiasedness of parameter estimates with a limited sample size, the availability of a statistical apparatus for testing the significance of predictors, as well as low computational costs and high speed of model training, which is critically important for making operational decisions in the financial sector. Logistic regression is especially effective at the stage

of preliminary data analysis and as a basic benchmark for comparison with more complex models. The model is widely used in credit scoring due to compliance with regulatory requirements for the transparency of decision-making algorithms.

Decision trees are a model that represents a logical sequence of decision-making rules of the form "If ..., then ...". Decision trees sequentially divide customers into classes according to one of the variables so that these classes differ as much as possible in the magnitude of credit risk. In this case, at the first stage, the division is carried out according to the most significant factor. Then the process continues until the remaining classes become so small that the next division does not lead to a statistically significant difference in the level of risk. The number of classes at each step of the decision tree construction procedure is selected automatically [1, 2]. The advantages of decision trees include fast processing of large amounts of data, easy interpretation of results, work with missing, numerical and non-numerical data types, as well as the absence of restrictions on correlations between dependent variables. The disadvantages of the method include the ambiguity of the algorithm for building the tree structure and the complexity of computer calculations. The method is usually used as an auxiliary for determining dependent variables. Random Forest, as one of the most popular ensemble methods, is based on a combination of the bootstrap aggregating principle with the use of a set of decision trees. The algorithm generates a series of classification or regression trees, each of which is trained on a random subsample of observations with random selection of features, which ensures decorrelation of individual forecasts. The final forecast is formed by aggregating the results of all classifier trees according to the principle of majority voting or averaging the responses in the case of regression. The key advantages of Random Forest in the context of financial scoring include: high resistance to overtraining, due to the randomization of the training process of each tree; the ability to efficiently process high-dimensional data with a large number of features; automated selection of the most informative predictors through feature importance analysis; resistance to outliers and noise in the data; the possibility of parallelizing calculations, which significantly speeds up the process of training the model. Among the limitations of the method, it should be noted: reduced interpretability compared to a single decision tree due to the complexity of analyzing a set of trees; increased computational costs associated with



the need to train and store a large number of trees; potential tendency to over-fitting on noisy data with excessive tree depth or a large number of iterations.

Gradient boosting (XGBoost, LightGBM, CatBoost) is a class of sequential ensemble methods in which each subsequent model iteratively corrects the errors of the previous ones, which makes this approach especially effective for complex problems with high requirements for prediction accuracy [3,4].

XGBoost is distinguished by the implementation of L1 and L2 regularization to minimize the risk of overfitting, the development of efficient algorithms for handling missing values, the use of optimized computational procedures (for example, historical accumulation for selecting optimal partitions), as well as support for parallel and distributed computing for processing large-scale data. LightGBM offers high learning speed thanks to Gradient-based One-Side Sampling (GOSS) technology, which reduces the number of computational operations by focusing on observations with large gradients, efficient work with big data by using Exclusive Feature Bundling (EFB) for memory optimization, and optimized memory usage through effective data compression.

CatBoost specializes in efficient processing of categorical features without the need for pre-encoding by implementing algorithms based on Ordered Boosting, which also reduces information leakage; includes built-in mechanisms to combat overlearning, such as regularization and early stopping; provides high accuracy on a variety of data types thanks to adaptive optimization algorithms.

The application of ensemble methods in financial scoring includes achieving maximum accuracy in credit risk forecasting, efficient work with large volumes of historical data, detection of complex nonlinear relationships between features and the target variable, as well as automation of the process of selecting the most informative features through feature importance analysis, which contributes to increasing the efficiency and reliability of scoring systems. Interpretation of machine learning models, known as Explainable AI (XAI), is a critical element of modern financial analytics, especially in the context of increasing complexity of algorithms such as deep neural networks and ensemble models. In the financial sector, where decisions on lending, risk assessment or fraud detection affect economic stability and regulatory compliance, model transparency is becoming not only an ethical but also a legal requirement.

According to systematic reviews, XAI allows for a balance between high predictive accuracy and decision clarity, reducing the risk of bias and ensuring compliance with regulations such as GDPR or the Basel Committee on Banking Supervision. In the context of assessing the financial soundness of customers, XAI helps explain why the model classified a customer as “risky” based on factors such as credit history or income, which contributes to stakeholder trust and improves decision-making.

The theoretical foundations of XAI are based on the concept of interpretability, which is divided into

global (understanding the model as a whole) and local (explanation of a specific prediction). As noted in the literature, XAI methods are divided into two categories: built-in (ante-hoc), where interpretability is part of the model structure, and post-hoc, which are applied to “black boxes” after training. In financial applications, where data is often tabular and high-dimensional, post-hoc methods dominate, as they allow the use of powerful models such as XGBoost or LSTM without losing accuracy. Research highlights that XAI not only increases transparency, but also helps to identify biases, such as gender or ethnicity, in credit scoring.

XAI not only provides transparency, but also directly contributes to improving the accuracy of customer creditworthiness models by identifying and correcting flaws in algorithms and data. Traditionally, “black boxes” like neural networks achieve high accuracy (e.g., AUC-ROC >0.9), but without interpretation, their errors remain hidden, leading to systematic biases and reduced reliability of predictions. XAI transforms this process by turning interpretation into a tool for iteratively improving models, increasing their overall effectiveness. According to research, implementing XAI can improve accuracy by 10-20% by identifying biases, optimizing features, and increasing robustness to noise in the data.

Conclusions. The application of ML for assessing the reliability of customers transforms banking practices, increasing accuracy and transparency. The integration of XAI eliminates the limitations of “black boxes”, contributing to regulatory compliance and risk reduction. Perspectives: hybrid models for dynamic data. Recommendations: implementation of XAI in Ukrainian banks to optimize scoring.

## References

1. Вакалюк Т. А. Огляд алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу обробки фінансових даних / Т. А. Вакалюк, Д. С. Антонюк, Л. А. Марцева, Ю. О. Годлевський // Вісник ХНТУ. – 2025. - № 2(93). – Ч. 2. С 60-66. – DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.7>.
2. Добрик Л. Штучний інтелект як інструмент оцінки кредитоспроможності підприємств: нові горизонти фінансових стратегій / Добрик Л., Руденко М., Кучеренко В., Шелест Я. // Review of transport economics and management. – 2025. - № 13 (29). - С. 122–137. – URL: <https://doi.org/10.15802/rtem2025/333474>.
3. Chen T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / Chen T., Guestrin C. // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - (2016). – P/ 785–794. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
4. Ke G. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree / Ke G., Meng Q., Finley T. etc. // 31st Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach, CA, USA. - 2017. – P. 9. -. URL: [https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2017/file/6449f44a102fde848669bdd9eb6b76fa-Paper.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/6449f44a102fde848669bdd9eb6b76fa-Paper.pdf)

## COMPARISON OF ORM AND DIRECT INTERACTION APPROACHES FOR WORKING WITH LARGE VOLUMES OF DATA IN .NET

The current stage of information technology development is characterized by a rapid growth in the amount of data processed by corporate systems. According to analysts, the annual increase in digital information is growing rapidly, which creates new challenges for software developers. In such conditions, the issue of effective interaction with databases becomes particularly relevant, since not only the speed of the system, but also the cost of its support and scalability depend on the correct choice of technological approach. In the .NET platform environment, there are several approaches to working with databases. The most common are the use of ORM (Object-Relational Mapping) tools and direct interaction with the database using low-level data access mechanisms. ORM approach allows developers to work with data in the form of programming language objects, while direct interaction involves executing SQL queries directly to the database management system. Traditionally, developers are faced with the need to choose between the convenience of development and maximum performance. On the one hand, modern ORM frameworks significantly accelerate the process of creating applications and lower the entry threshold for new team members. On the other hand, for critical operations with large data sets, there is often a need for optimization at the level of direct SQL queries.

The growth of data volumes in corporate information systems requires solutions that provide high performance, scalability and reliability. For example, studies show that the choice of data access technology significantly affects the overall system performance and resource efficiency. Other studies have shown that different ORM frameworks have different effects on query processing speed and memory consumption when working with large data sets. Both approaches have their advantages and disadvantages, especially in the context of working with large amounts of data. The choice between them often depends on the requirements for performance, scalability, code maintainability, and the complexity of the system's business logic. This review examines the main features of the ORM approach and direct interaction with the database in the .NET environment, and also analyzes their capabilities and limitations when working with large data sets.

Object-Relational Mapping (ORM) is a technology that allows you to map the object-oriented model of a software system to the relational model of a database. The main idea of ORM is that database tables are represented as classes, rows as objects, and

columns as properties of these objects. In the .NET environment, one of the most popular ORM frameworks is Entity Framework, as well as its modern version Entity Framework Core [1, 3, 4]. Using ORM allows developers to work with the database using the C# programming language and LINQ queries, which significantly increases development productivity and reduces the amount of low-level code.

The main advantages of the ORM approach are: increasing development speed. ORM frameworks automate a significant part of routine operations, such as creating SQL queries, mapping results to objects, and managing transactions. This allows developers to focus on the business logic of the system; abstraction from a specific DBMS. ORM provides a certain level of independence from a specific database management system. This simplifies migration between different DBMSs and increases the flexibility of the system architecture; support for an object-oriented approach. Developers can use the full potential of object-oriented programming, including inheritance, encapsulation, and polymorphism; reduced errors. The use of typed queries and automatic SQL code generation reduces the risk of syntax errors and SQL injections. However, ORM has certain limitations when working with large amounts of data. One of the main problems is the decrease in performance due to the additional layer of abstraction. ORM frameworks perform conversions between objects and relational structures, which requires additional computing resources. In addition, ORMs can generate complex SQL queries that are not always optimal in terms of performance. In the case of large data sets, this can lead to a significant load on the database server and an increase in query execution time. Another aspect is the management of the change tracking context. ORM frameworks usually track the state of an object, which allows you to automatically generate queries to update data. However, when working with large data sets, this can lead to significant memory consumption.

Direct database interaction in the .NET environment is usually carried out using ADO.NET technology. This approach involves the use of SQL queries that are executed directly through a database connection [2]. The main advantage of direct interaction is high performance. The developer has full control over SQL queries and can optimize them according to the specifics of the database and table structure. Key advantages of the direct interaction approach: maximum performance. SQL queries can be optimized manually, which allows you to achieve



significantly better performance when working with large tables; full control over query execution. The developer can use complex queries, stored procedures, indexes, and other optimization mechanisms; efficient use of memory. When using DataReader, data is read in a stream, which allows processing large data sets without loading them completely into memory.

At the same time, direct interaction with the database has certain disadvantages. The main one is an increase in development complexity. Developers need to manually write SQL queries, process results, and perform data conversions into program objects. In addition, this approach complicates the maintenance and scaling of the program code, since the data access logic can be distributed across different parts of the system. The features of working with large amounts of data are as follows. When working with large amounts of data, issues of performance, scalability, and efficient use of resources become particularly important. There are certain optimization methods for the ORM approach: using NoTracking queries, which disable the change tracking mechanism; using projections (Select) to retrieve only the necessary fields; using batch processing; optimizing indexes in the database. It is also important to avoid a situation known as the N+1 problem, when the ORM performs a large number of additional queries to the database when loading related objects. In the case of direct interaction with the database, the main optimization methods are: using stored procedures; using indexes; optimizing SQL queries; using batch operations (bulk operations).

To work with very large amounts of data, a hybrid approach is often used, when ORM is used for most standard operations, and direct access to the database is used for parts of the system that are critical in terms of performance.

A comparison of ORM and direct interaction with the database shows that each of the approaches has its own area of effective application. ORM is better suited for: rapid development of business applications; systems with medium amounts of data; projects where code maintainability is important. Direct interaction with the database is more appropriate in cases of: working with large amounts of data; highly loaded systems; complex analytical queries. Thus, the optimal architecture of modern systems often combines both approaches, using ORM for standard operations and low-level data access mechanisms for critical parts of the system.

In further research, it is recommended to conduct a comparative analysis of existing approaches in order to determine the most effective method for different usage scenarios. For practical verification of the selected methods, a test application based on ASP.NET Core with support for .NET 9 and SQL Server will be implemented. The results obtained will allow determining the optimal approach to interacting with the database depending on the type of operations, data volume and performance requirements.

Special attention is paid to studying the behavior of different approaches when performing typical operations of corporate systems. Entity Framework

Core will be tested both with change tracking enabled and in AsNoTracking mode for read operations. Direct interaction via ADO.NET will be evaluated for performance when performing mass insert operations and efficiency of complex analytical queries with aggregation of large data. Of particular interest is the comparison of SQL code generation by different ORM frameworks and its optimality from the point of view of the SQL Server query planner. The results of this analysis will allow us to formulate practical recommendations for choosing a data access technology for specific business scenarios.

Conclusions. The use of the ORM approach and direct interaction with the database in the .NET environment has a significant impact on the performance, scalability and maintainability of software systems. ORM frameworks significantly simplify software development, providing a high level of abstraction and integration with object-oriented programming languages. However, when working with large amounts of data, this approach can create additional overhead. Direct interaction with the database, on the contrary, allows you to achieve maximum productivity and resource efficiency, but requires more manual work and a deep understanding of the principles of the DBMS. In modern software systems, a combined approach is increasingly used, which allows you to combine the advantages of both methods. Using ORM for most standard operations and direct access to the database for high-load scenarios allows you to create flexible, scalable and efficient information systems.

Thus, the right choice of an approach to data access is an important factor in the successful implementation of software projects in the .NET environment, especially in conditions of constant growth in data volumes and system performance requirements. The ORM approach, implemented using Entity Framework Core and Dapper on the .NET platform, is widely used due to its rapid development capabilities, database abstraction, and type safety. However, to achieve truly high performance, it is important to consider a number of key parameters: data sample size, query complexity, change tracking settings, linked data loading strategies, use of compiled queries, and database connection configuration.

## References

1. Entity Framework Core [Electronic resources] // Microsoft Learn. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/ef/core/>.
2. ADO.NET [Electronic resources] // Microsoft Learn. – Access mode: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/data/adonet/>.
3. Performance considerations for EF Core [Electronic resources] // Microsoft Learn. – Access mode: <https://learn.microsoft.com/en-us/ef/core/performance/>.
4. EntityFramework Core vs Dapper [Electronic resources] // Code Maze. – Access mode: <https://code-maze.com/entityframeworkcore-vs-dapper/>.



Trunov Mykyta, Ushakova Iryna  
 mykyta.trunov@m.hneu.edu.ua, iryna.ushakova@m.hneu.edu.ua

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

## DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR PERSONALIZED ENGLISH LANGUAGE LEARNING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The integration of modern technologies into the educational process significantly improves the efficiency of acquiring new skills. Increasing satisfaction with learning is a key aspect of language learning applications that distinguishes this method of learning foreign languages among a number of other methods. This is achieved by collecting data about users, their habits, preferences, which allows you to create a personal language learning program for each user. Another method of increasing satisfaction is gamification of the process - this is when users are awarded points for their activity in the application, for completing exercises. This method can also include comparing the user's progress with others. This allows you to create an improvised competition and increase user motivation. As indicated in [8], such approaches can significantly increase user engagement. Thus, using a foreign language learning application, you can increase the motivation and engagement of users who are learning foreign languages. This has a positive effect on the quality of knowledge, speed of learning, and satisfaction with the product.

Instant feedback is also an important advantage of the application. The main problem of standard methods of learning foreign languages is the distribution of the teacher's time between students. If a teacher has many students, this can lead to slow feedback, which negatively affects the speed of learning. It can also lead to some students receiving less attention than others. A language learning app helps to avoid these problems with personalized exercises and instant feedback.

The development of a web application for interactive English language learning using Artificial Intelligence represents a necessary modernization of educational tools. This project aims to build an adaptive platform that customizes the learning experience for each individual user, avoiding the limitations of rigid, pre-planned curricula. By combining interactive tasks, dynamically generated content, and a functional interface, the platform maintains user motivation and provides highly relevant educational materials.

A significant number of users globally utilize mobile and web applications to study English languages. However, most traditional language learning platforms face a fundamental structural limitation: their content is entirely static. This means that all questions, vocabulary lists, and grammar tests must be manually created, verified, and programmed by developers and educators prior to the application's release. While static applications function adequately

during the initial stages of learning, they fail to provide sustained personalization. Every user is forced to follow an identical progression path. Individuals with different professional backgrounds or specific academic interests receive the exact same generalized lessons, which often lack relevance to their actual daily activities or career requirements. Furthermore, the static model presents a scalability issue. The educational process stops when a user completes all available levels. Continuously creating new, specialized lessons requires significant financial and time investments from the developers. As a result, users frequently experience a decline in motivation and eventually abandon the learning process.

To resolve the limitations of static databases, this project implements Artificial Intelligence to generate educational content dynamically. The primary architectural concept of this web application is to eliminate the reliance on pre-written test databases. The application functions as an automated intermediary system between the user's specific learning parameters and the generative capabilities of the language model. The process provides the user with complete control over their educational trajectory. Upon accessing the application, the user interacts with a configuration panel to set up their study session. The user selects the target language, specifies their current proficiency level based on standard frameworks from A1 to C1, and inputs an exact topic of interest into a text field [7]. Based on these defined parameters, the system instantly generates a unique set of questions, vocabulary, and practical exercises centered entirely on the requested subject. This algorithmic approach ensures that the application possesses a theoretically infinite volume of content, constantly adapting to the precise needs of the learner. An effective educational application must offer diverse methods of practice to ensure comprehensive material retention and prevent cognitive fatigue. To achieve this, the system architecture supports several standardized types of interactive tasks integrated directly into a continuous learning flow without using isolated lists. The first type involves classic multiple-choice quizzes, where the user reads a generated question and selects the single correct answer from four provided options. This specific format is highly effective for rapid vocabulary assessment and general reading comprehension checks. The second type of task focuses on fill-in-the-blank exercises. In this scenario, the user is presented with a generated sentence containing a missing element and must manually type the correct word



using their keyboard. This format strictly enforces spelling accuracy and helps the user memorize the exact morphological structure of the word. The third type of task involves complex sentence construction. The user interacts with a randomized array of generated words and must arrange them into the correct syntactic order to form a coherent, grammatically correct sentence.

A critical feature of this application is its contextual feedback system. In conventional applications, an incorrect answer typically triggers a basic negative visual indicator. In this application, when a user submits an incorrect response, the system utilizes Artificial Intelligence to instantly generate a detailed, context-specific explanation of the grammatical rule or vocabulary nuance that was violated. This immediate, personalized feedback facilitates a much deeper understanding of the material. The server-side operations of the application are powered by Django, a robust and secure Python-based web framework [1]. Django performs two primary functions within the system architecture. First, it manages the relational database, securely storing user accounts, authentication credentials, and historical learning progress. The framework tracks user activity and records completion metrics to provide statistical feedback. Second, Django manages all external communications with the generative AI interface. The application utilizes the Gemini API to request and receive the educational tests. API keys, which are critical for system security and access authorization, are securely isolated on the server side by Django, preventing any unauthorized client-side access [6]. To ensure system stability, the server enforces strict data typing rules. The AI is programmed to return all generated content exclusively in the JSON format. This structured data format allows the application's code to reliably parse the generated questions, options, and correct answers into distinct variables without encountering parsing errors caused by conversational text. The visual presentation and client-side interactions are built using HTML, CSS, JavaScript, and the Bootstrap 5 framework [2, 3, 5]. Bootstrap 5 provides standardized, responsive design components. The use of this framework ensures that all interface elements, such as buttons, input fields, and navigation menus, automatically scale and reorganize themselves to fit any screen resolution. This responsive design guarantees full functionality across desktop computers, tablets, and mobile devices [5]. JavaScript is utilized to manage asynchronous operations via the Fetch API, allowing the platform to function as a Single-Page Application [4]. When the user interacts with a task and submits an answer, the page does not undergo a complete reload. Instead, JavaScript transmits the data to the server in the background and immediately updates the graphical interface to reflect the result. This architectural choice significantly reduces server load and provides a rapid, uninterrupted user experience.

The practical value of this project applies to both end-users and the educational technology sector. For

individual learners, it provides access to a highly personalized educational tool that focuses entirely on their specific academic or professional interests, optimizing the time spent on language acquisition.

For the educational technology market, this approach drastically reduces operational and maintenance costs. The automated generation of content via API integrations eliminates the continuous need for manual curriculum development, making the platform highly scalable and economically efficient.

The modular architecture of the application allows for straightforward implementation of future technical updates. The first planned enhancement is the integration of Speech-to-Text application programming interfaces. This will allow users to submit answers utilizing their microphone, thereby adding pronunciation and speaking practice to the existing reading and writing tasks. The second planned enhancement is the implementation of an adaptive memory algorithm. The database will track specific vocabulary items that a user frequently answers incorrectly and automatically append instructions to the AI prompt to include these specific items in future generated lessons.

The development of this AI-powered web application represents a functional transition toward adaptive digital education. By synthesizing the backend security of the Django framework, the responsive design capabilities of Bootstrap, the asynchronous processing of JavaScript, and the generative capacity of Artificial Intelligence, the project addresses the core structural limitations of static language applications. It establishes an educational environment that provides continuous, highly relevant, and structurally sound learning materials for its users.

## References

1. Django Software Foundation. "Django Documentation." [Electronic resource]. – Available at: <https://docs.djangoproject.com/en/5.1/>
2. W3Schools. "HTML Tutorial." [Electronic resource]. – Available at: <https://www.w3schools.com/html/default.asp>
3. W3Schools. "CSS Tutorial." [Electronic resource]. – Available at: <https://www.w3schools.com/css/default.asp>
4. W3Schools. JavaScript Tutorial [Electronic resource]. – Available at: <https://www.w3schools.com/js/default.asp>
5. Bootstrap Team. "Build fast, responsive sites with Bootstrap." [Electronic resource]. – Available at: <https://getbootstrap.com/docs/5.3/getting-started/introduction/>
6. Google for Developers. "Gemini API Documentation: Integrate AI Models." [Electronic resource]. – Available at: <https://ai.google.dev/docs>
7. Council of Europe. "Common European Framework of Reference for Languages: Learning, teaching, assessment (CEFR)." [Electronic resource]. – Available at: <https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages>
8. Нич О. Б. Особливості використання інтерактивних методик у викладанні здобувачів вищої освіти / Нич О. Б., Кузьменко Ю. О. / Академічні візії. – 2025. – Вип. 44. – 16 с. - DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15518565>.



## IMPROVING ONLINE LEARNING BASED ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

The current stage of society's development is characterized by rapid digitalization, which covers almost all spheres of human activity, including education. The modern education system is undergoing profound changes under the influence of digital technologies, among which distance learning has become a key element in the transformation of the educational environment. The active introduction of information technologies into the educational process contributes to the formation of new models of organizing learning, among which online education is of particular importance. Online learning provides access to educational resources regardless of geographical location, promotes flexibility of the educational process and allows you to adapt educational programs to the needs of modern society.

One of the key factors in the development of digital education is the use of artificial intelligence technologies. Artificial intelligence is becoming an important tool for increasing the efficiency of educational services, as it allows you to automate a significant part of learning management processes, analyze large amounts of data, and also provide personalization of the educational process [2].

In the context of the growing need for quality distance education, there is a need to improve online platforms and services for organizing learning. Artificial intelligence technologies are able to significantly expand the functionality of educational systems, increase the level of interactivity, and also provide an individual approach to each user. Thus, researching the possibilities of using artificial intelligence to improve online learning services is a relevant and important direction in the development of modern education. The purpose of the work is to investigate the possibilities of using artificial intelligence technologies to improve online learning services and increase the efficiency of the educational process. To achieve the goal, the following tasks have been identified: to analyze the current state of development of online education; to investigate the main directions of using artificial intelligence technologies in education; to determine the functional capabilities of intelligent educational systems; to analyze the advantages and limitations of using artificial intelligence in online learning; to determine the prospects for the development of educational services based on artificial intelligence technologies.

Modern information technologies have significantly changed traditional approaches to organizing the educational process. Online education has become an integral part of the modern educational

system, as it provides: accessibility of education to a wide range of users; flexibility in choosing the time and pace of learning; the ability to use a variety of multimedia resources; interactive interaction between teachers and students.

An important role in the development of distance learning is played by educational platforms that provide management of the educational process, organization of educational materials, testing, and assessment of learning outcomes. However, traditional online platforms have certain limitations, including insufficient level of personalization of learning, limited capabilities for analyzing user behavior, and insufficient interactivity. That is why the integration of artificial intelligence technologies is an important direction for the development of such systems.

Artificial intelligence encompasses a wide range of technologies that can be used to improve educational services. Among them, the following play a special role: Natural language processing technologies allow systems to analyze text information, recognize the content of messages, and interact with users in a dialogic manner. This makes it possible to create intelligent chatbots that can answer students' questions, provide advice, and assist in the learning process; machine learning allows systems to analyze large amounts of educational data and identify patterns in user behavior. This makes it possible to create adaptive learning systems that adjust educational material to the level of knowledge and individual characteristics of students; computer vision is used to analyze images and videos. In education, this technology can be used for facial recognition, analyzing student attention during learning, and automatically monitoring online exams; speech recognition systems allow you to convert spoken language into text. This opens up opportunities for creating voice assistants in educational systems, automatically creating subtitles for lectures, and facilitating user interaction with educational platforms.

The use of artificial intelligence technologies in the field of online education allows you to significantly expand the functionality of educational services. One of the main advantages of using artificial intelligence is the ability to personalize the learning process. Intelligent systems can analyze student performance, their activity and learning style, and then offer individual recommendations for educational material. Recommendation systems allow you to offer students educational resources that best meet their needs. These can be additional materials,



Information Systems  
Department

«Сучасні інформаційні системи та технології  
в цифровому суспільстві»

video lectures, articles or exercises. Artificial intelligence can be used to automatically evaluate test tasks, analyze written work and check the correctness of task completion. This significantly reduces the workload on teachers and speeds up the process of obtaining results. Chatbots based on artificial intelligence can act as virtual assistants for students. They answer questions, help find educational materials, remind about deadlines and support users in the learning process. The use of artificial intelligence technologies in online learning has a number of advantages: increasing the efficiency of the educational process; the ability to individualize learning; automation of routine tasks; improving the availability of educational resources; increasing the level of interaction between students and teachers; the ability to analyze large amounts of educational data. Due to these advantages, artificial intelligence can significantly improve the quality of online education.

Despite significant opportunities, the implementation of artificial intelligence in the educational process is associated with certain difficulties. One of the key problems is limited communication and interaction in a virtual environment [2]. In online learning, there is no full emotional contact, characteristic of traditional classroom communication. This complicates feedback, prompt response to non-verbal signals of students, reduces the level of engagement and motivation for learning. Some platforms, in particular Zoom or Google Meet, provide only basic communication capabilities (video, audio, chat), without in-depth analytics of emotional state or engagement, which creates barriers for the teacher in tracking the dynamics of the educational process.

The next problem is technical limitations and digital inequality. Not all learners have the same access to high-speed Internet, modern devices, or a comfortable learning environment at home. This leads to inequality in learning conditions and a decrease in the quality of learning. Even the most functional services cannot compensate for the physical absence of a student in the educational process if he does not have the technical ability to fully participate in classes. Often, platforms perform only part of the educational functions: Zoom or Google Meet are focused primarily on synchronous interaction, while Moodle provides more opportunities for asynchronous learning, but does not have built-in video communication. This requires additional integrations, technical support, and skills in working with several services at the same time, which makes it difficult to organize a single, holistic learning space [1].

Special attention should be paid to the lack of adaptation and personalization of educational content. Platforms often do not take into account the individual characteristics of students, their level of knowledge, learning style or pace of learning. Most online systems are built on the principle of “one format for all”, which contradicts the principles of adaptive learning. Without the implementation of intelligent algorithms and analytical modules, it is impossible to effectively implement individual educational trajectories.

Necessary to highlight the problem of overloading teachers, who are forced to simultaneously perform pedagogical, technical, administrative and communicative functions. The organization of online learning requires the teacher to master digital tools, knowledge of technical aspects, moderation of activities, control of presence and assessment in the digital environment. In the absence of automated mechanisms, these processes lead to an increase in workload, emotional burnout and a decrease in the quality of teaching.

Finally, another problem is the low level of data security and privacy. Online learning platforms collect, process and store large amounts of personal data of students and teachers. With an insufficient level of protection or incorrect access settings, there may be a threat of data leakage, unauthorized access to information or loss of confidentiality. This is especially critical in the context of AI integration, where the processing of sensitive information requires strict adherence to ethical norms and legislation on personal data protection (in particular, GDPR) [3].

The main areas of development may be: the creation of fully adaptive learning environments; the use of intelligent analytical systems to predict learning outcomes; the integration of augmented and virtual reality technologies with artificial intelligence systems; the development of intelligent assistants for teachers and students.

Conclusions. Therefore, artificial intelligence technologies play an important role in the development of modern online education. Their use allows to significantly increase the efficiency of the organization of the educational process, ensure the personalization of learning and expand the functionality of educational platforms. The integration of intelligent technologies into distance learning systems contributes to improving the quality of education, improving interaction between participants in the educational process, and creating more flexible and adaptive educational environments. Despite the existing challenges, the further development of artificial intelligence opens up broad prospects for improving educational services. The use of such technologies will allow creating a new generation of educational systems that will take into account the needs of users as much as possible and ensure a high level of learning efficiency.

## References

1. Zoom Video Communications. Zoom AI Companion [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://explore.zoom.us/docs/en/ai-companion/>.
2. Згуровський М.З. Вступ до штучного інтелекту: тенденції, виклики, перспективи [Електронний ресурс]: / М.З. Згуровський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. - 107 с.
3. Іваненко А., Пічик К. Генеративні моделі штучного інтелекту як ефективний інструмент для оптимізації бізнес-процесів / А.Іваненко, К. Пічик // EMPIRIO. –2024. –Том 1. –Вип. 1 – С. 112-121.



## COMPARISON OF TASK PRIORITIZATION TECHNIQUES FOR IT TEAMS

In the modern IT industry, effective task management is one of the key factors for the successful implementation of software projects. With the increasing complexity of software systems, the increase in the number of functional requirements and the need to quickly respond to market changes, there is a need to apply effective methods for determining task priorities. It is the prioritization process that allows teams to focus on the most important and valuable tasks, ensuring optimal use of resources and timely achievement of business goals. In the context of flexible software development methodologies such as Agile, Scrum and Kanban, determining task priorities plays an important role in forming a product backlog, planning sprints and managing the workflow. Incorrect or insufficiently justified prioritization can lead to development delays, inefficient use of team resources and a decrease in the quality of the software product. There are a significant number of task prioritization techniques used in IT projects. Among the most common are the MoSCoW method, the Kano model, the WSJF (Weighted Shortest Job First) method, RICE, the Eisenhower matrix method, and the Story Mapping method. Each of these approaches has its own principles, evaluation criteria, and scope. Therefore, it is important to conduct a comparative analysis of these methods in terms of their effectiveness, ease of use, and suitability for different types of IT teams [1-2]. The purpose of these theses is to analyze and compare the main techniques for determining task priorities used in IT teams, as well as to determine their advantages, disadvantages, and features of application in modern software development projects. The role of task prioritization in the software development process is as follows. Task prioritization is an important element of requirements management and software development planning. In a typical IT project, the number of potential features, bug fixes, and technical tasks significantly exceeds the team's ability to implement them in a given time. That is why it is necessary to determine which tasks should be performed first and which can be postponed or even excluded from the development plan. Within the framework of Agile approaches, prioritization is usually carried out at the product backlog level, where all tasks are ordered according to their value to the business, complexity of implementation and impact on users. This approach allows for the gradual creation of the most important functionality of the software product. In addition, the correct determination of priorities contributes to increasing the transparency of the development process and improves interaction between stakeholders, such as customers, product

managers and developers. This allows for more informed decisions regarding the development of the software product. The MoSCoW method is one of the most well-known requirements prioritization techniques [1-3]. The name of the method is an abbreviation consisting of the first letters of four priority categories: Must have - mandatory requirements; Should have - desirable requirements; Could have - secondary requirements; Won't have - requirements that will not be implemented in the current release. The main idea of the method is to classify tasks according to their importance for the project. Must have tasks are critical for the functioning of the system and must be implemented first. Should have category includes important but not critical functions. Could have tasks have a relatively low priority and can be implemented only with the availability of additional resources. Won't have category defines functions that are not included in the current scope of work. The advantage of the MoSCoW method is its simplicity and clarity for all project participants. It allows you to quickly identify the most important tasks and ensure the team's focus on the key functionality of the product. However, one of the disadvantages is the lack of quantitative evaluation criteria, which can lead to subjectivity in determining priorities. The Kano model is used to evaluate the functionality of a product from the point of view of user satisfaction. It was proposed by Japanese researcher Noriaki Kano and is widely used in the field of quality management and product development. Within the framework of this model, all functions are divided into several categories: basic functions; expected functions; attractive functions; neutral features. Basic features are the minimum necessary for the normal functioning of the product. Their absence causes significant user dissatisfaction. Expected features increase the level of user satisfaction in proportion to the quality of their implementation. Attractive features, in turn, can significantly increase user satisfaction, although their absence does not cause a negative reaction. The main advantage of the Kano model is its user orientation and the ability to evaluate the impact of features on customer satisfaction. However, the application of this approach often requires conducting a user questions and additional analysis, which can complicate its use in rapid iterative development processes. The Weighted Shortest Job First (WSJF) method is widely used in the Scaled Agile Framework (SAFe). The main idea of this approach is to determine the priorities of tasks based on the ratio of their value to the duration of execution. The priority of a task is



determined by the formula:  $WSJF = (\text{cost of delay}) / (\text{duration of work})$ . The cost of delay can include the following components: business value, time criticality, risk reduction. Tasks with the highest WSJF value receive the highest priority. The advantage of this method is the use of quantitative indicators, which allows to reduce subjectivity in the process of determining priorities. However, the use of WSJF requires sufficiently accurate estimates of the cost of delay and the duration of task execution, which is not always possible in the early stages of the project. The RICE method is a popular approach to prioritizing tasks in product teams. The name of the method is an abbreviation of four evaluation criteria: Reach – user reach, Impact – impact on users, Confidence – level of confidence in estimates, Effort – complexity of execution. The priority of the task is determined by the formula:  $RICE = (\text{Reach} \times \text{Impact} \times \text{Confidence}) / \text{Effort}$ . This approach allows you to take into account both the potential benefit of the function for users and the complexity of its implementation. The RICE method is well suited for product teams working on the development of digital services and platforms. The disadvantage of this method is the need to evaluate a large number of parameters, which may require additional analytical efforts. The Eisenhower matrix is a universal task management tool that can also be used in IT teams. It is based on the division of tasks according to two criteria: importance, urgency. As a result, four categories of tasks are formed: important and urgent; important but not urgent; urgent but not important; unimportant and non-urgent. This approach allows you to quickly determine which tasks need to be completed immediately and which can be postponed or delegated. However, for large IT projects, this technique is often used only as an auxiliary tool. User Story Mapping (USM) is a visual technique in Agile development, proposed by Jeff Patton, which structures user stories (stories) in the form of a map that reflects the user journey. It helps teams better understand user needs, prioritize features and define a Minimum Viable Product (MVP). The method organizes user stories (tasks) as a two-dimensional map: horizontally – user steps (scenario), vertically – priority of features. The main characteristics and advantages of this method: task visualization presents tasks as a sequence of steps (workflow), which shows a complete picture of the product instead of a linear list (backlog), the map has a hierarchical structure, which usually consists of three levels: activities (Activity), steps (Steps/User Tasks) and details (Stories); A focus on value helps to understand why each task is being done, providing an understanding of the value to the user and the business; a shared understanding of the project's tasks and goals unites the team, allowing everyone to see the context of the project and improving communication. The team uses a large board or wall to create a visual diagram of the user's interaction with the product, first identifying important steps and then adding individual stories under them. When the map is complete, the team has a logical view of the user's interaction and can determine which stories are

high priority and which are low priority. Comparative analysis of techniques. A comparison of the considered methods shows that they have different approaches to prioritizing tasks. The MoSCoW method is simple and straightforward, but has limited accuracy. The Kano model is user-centered and allows you to identify features that can improve customer satisfaction. The WSJF method provides a more formal approach to prioritizing and takes into account the economic aspects of development. The RICE method allows you to comprehensively assess the potential impact of features on the product. The Eisenhower Matrix, in turn, is a universal task management tool that can be used to quickly assess their importance. The User Story Mapping is a tool that transforms abstract requirements into a clear release plan with a representation of task priorities, which are divided into releases. The choice of a specific technique depends on the type of IT team, project size, level of requirement uncertainty, and availability of analytical data. Conclusions. Prioritization of tasks is an important element of software development process management. It allows for efficient use of team resources, increased transparency in decision-making, and focus on the most important product functionalities. The considered prioritization techniques have various advantages and limitations. The MoSCoW and Eisenhower matrix methods are easy to use, but have limited accuracy. The Kano model allows you to take into account the user satisfaction factor, which is important for product companies. The WSJF and RICE methods provide a more formalized approach to prioritization and allow you to take into account the economic and analytical aspects of development. USM is aimed at providing MVP. In modern IT teams, the most effective approach is the combined use of various techniques for determining task priorities. This allows you to take into account both the business value of functions and the technical aspects of their implementation, and also provides more informed management decision-making. Thus, the correct choice and application of prioritization techniques is an important factor in the successful implementation of IT projects, especially in conditions of high competition, rapid technological changes and increasing complexity of software systems.

## References

1. Єнікєєва Ж. 12 методів пріоритизації продуктових цілей: RICE, WSJF, KANO та інші / Ж. Єнікєєва [Electronic resources] // LinkedIn. – Access mode: <https://www.linkedin.com/pulse/12-методів-пріоритизації-продуктових-цілей-rice-wsjf-kano-zhanna-hm2zf/>.
2. Зосим М. Фреймворки пріоритизації / М. Зосим [Electronic resources]. – Access mode: <https://www.maxzosim.com/prioritization-frameworks/>.
3. Vijayakumar S. Assessing the Effectiveness of MoSCoW Prioritization in Software Development: A Holistic Analysis across Methodologies / S. Vijayakumar, K. Prasad, R. Holla // EAI Endorsed Transaction on Internet of Things. – 2024. – Vol. 10. – 9 p. – DOI: 10.4108/eetiot.6515.



## APPLICATION OF THE COMBINED QUASI-NEWTON METHOD TO SOLVE OPTIMIZATION PROBLEMS IN MACHINE LEARNING

Currently, neural network training primarily relies on gradient-based methods (e.g., ADAM or stochastic gradient descent [1]) due to their lower computational complexity and reduced memory requirements. However, a significant drawback of gradient descent methods is their very slow convergence rate [1], particularly for ill-conditioned problems. In contrast, quasi-Newton optimization methods typically demonstrate much faster convergence but require more memory and computational resources. Nonetheless, limited-memory variants of quasi-Newton methods (such as L-BFGS [1]) make them applicable to large-scale problems. In the author's view, with the advancement of computing technologies, such as quantum computing, it is expected that quasi-Newton methods will become increasingly applicable in machine learning, specifically for neural network training [2].

We consider the unconstrained optimization problem:

$$\min f(x), \quad x \in R^n, \quad (1)$$

where  $f(x)$  is a twice continuously differentiable function, and there exists a point  $x^* \in R^n$  that is a local minimizer of  $f(x)$ . The Hessian matrix  $\nabla^2 f(x^*)$  is either degenerate (i.e.,  $\text{rank}(\nabla^2 f(x^*)) < n$ ) or ill-conditioned (i.e.,  $\text{cond}(\nabla^2 f(x^*)) \gg 1$ ).

Combined quasi-Newton methods [3, 4] for solving problem (1) generate an iterative sequence of approximate solutions using the following formula:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha_{k1} u_1^{(k)} + \alpha_{k2} u_2^{(k)}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

where  $x^{(0)}$  is the initial guess,  $u_1^{(k)}$  and  $u_2^{(k)}$  are orthogonal search directions, and  $\alpha_{k1}$ ,  $\alpha_{k2}$  are the corresponding step sizes. The orthogonal vectors  $u_1^{(k)}$  and  $u_2^{(k)}$  are determined as follows.

At each iteration  $k$ , we compute the gradient vector  $g^{(k)} = \nabla f(x^{(k)})$  and an approximation  $H_k$  of the Hessian matrix  $\nabla^2 f(x^{(k)})$ , which is updated using the BFGS formula [1]:

$$H_{k+1} = H_k + \frac{y_k y_k^T}{y_k^T s_k} - \frac{H_k s_k (H_k s_k)^T}{s_k^T H_k s_k}$$

where  $s_k = x^{(k)} - x^{(k-1)}$ ,  $y_k = g^{(k)} - g^{(k-1)}$ ,  $H_0 = I$ ;  $I$  is the identity matrix.

Since the matrix  $H_k$  is symmetric, it can be diagonalized via spectral decomposition:

$$H_k = Q_k \Lambda_k Q_k^T,$$

where  $Q_k$  is an orthogonal matrix and  $\Lambda_k = \text{diag}(\lambda_i^{(k)})$  is a diagonal matrix of the eigenvalues  $\lambda_i^{(k)}$  of  $H_k$ , ordered by descending absolute value:

$$|\lambda_1^{(k)}| \geq |\lambda_2^{(k)}| \geq \dots \geq |\lambda_n^{(k)}|.$$

The diagonal matrix  $\Lambda_k$  can be partitioned into block form:

$$\Lambda_k = \begin{bmatrix} \Lambda_{k1} & 0 \\ 0 & \Lambda_{k2} \end{bmatrix},$$

where  $\Lambda_{k1} = \text{diag}(\lambda_i^{(k)})$  for indices  $i = 1, \dots, r_k$ , such that  $|\lambda_i^{(k)}| / |\lambda_1^{(k)}| > \varepsilon_k$ , with  $r_k \leq n$ ,  $\varepsilon_k > 0$  is a numerical parameter for the method at iteration  $k$ ; and  $\Lambda_{k2} = \text{diag}(\lambda_i^{(k)})$  for  $i = (r_k + 1), \dots, n$ , such that  $|\lambda_i^{(k)}| / |\lambda_1^{(k)}| \leq \varepsilon_k$ .

The orthogonal matrix  $Q_k$  is also partitioned accordingly:

$$Q_k = [Q_{k1} \quad Q_{k2}],$$

where  $Q_{k1}$  is an  $n \times r_k$  matrix and  $Q_{k2}$  is an  $n \times (n - r_k)$  matrix.

In the methods defined by equation (2), the quasi-Newton algorithm is applied to the orthogonal complement of the subspace  $\ker(H_{k\varepsilon})$ . Specifically, the vector  $u_1^{(k)}$  is computed as follows [3]

$$u_1^{(k)} = -H_{k\varepsilon}^+ P_k^\perp g^{(k)}, \quad (3)$$

where  $H_{k\varepsilon}^+$  denotes the pseudo-inverse of the matrix  $H_{k\varepsilon} = Q_{k1} \Lambda_{k1} Q_{k1}^T$ ,  $P_k = I - Q_{k1} Q_{k1}^T$ ,  $P_k^\perp = I - P_k = Q_{k1} Q_{k1}^T$ .

The method used to compute the vector  $u_2^{(k)}$  defines a family of algorithms based on the aforementioned subspace decomposition approach [3, 4].

In [3], a method was proposed in which the gradient descent algorithm is applied on the subspace  $\ker(H_{k\varepsilon})$ , i.e., the vector  $u_2^{(k)}$  is defined as:

$$u_2^{(k)} = -P_k g^{(k)}.$$

In [4], the conjugate gradient method is applied on the subspace  $\ker(H_{k\varepsilon})$ , and the vector  $u_2^{(k)}$  is computed as:

$$u_2^{(k)} = \begin{cases} -P_k g^{(k)}, & \text{if } k \bmod n = 0; \\ -P_k g^{(k)} + \beta_k u_2^{(k-1)}, & \text{if } k \bmod n > 0; \end{cases} \quad (4)$$

where  $\beta_k$  is computed using the CD formula:

$$\beta_k = \beta_k^{CD} = \frac{\|P_k g^{(k)}\|^2}{-(u_2^{(k-1)})^T (P_k g^{(k)})}$$

The conjugate gradient method is clearly more effective than basic gradient descent, especially when the degeneracy rank (i.e., the dimension of the subspace  $\ker(H_{k\epsilon})$  exceeds one, i.e., when  $(n - r_k) > 1$ .

The efficiency of the proposed method is demonstrated through numerical experiments on standard test problems from machine learning. The results are compared with implementations from widely used software environments, including Python, and PyTorch.

Numerical experiments were also conducted using objective functions widely used in machine learning [1-2]: Logistic Regression Loss, Neural Network Loss, and Multi-class Cross-Entropy Loss. In this work, as an illustrative example, we provide numerical results for a single test function.

Extended Logistic Regression Loss Function with regularization parameter  $\lambda \geq 0$  and condition number  $cond = 10^{10}$ :

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \log(1 + \exp(-b_i a_i^T x)) + \frac{\lambda}{2} \|x\|^2,$$

where  $b_i \in (-1, 1)$ , and  $a_i \in \mathbb{R}^n$  denotes the  $i$ -th row of matrix  $A$ . The matrix  $A$  is generated as

$$A = U\Sigma V^T,$$

where  $U$  and  $V$  are orthogonal matrices, and  $\Sigma$  is a diagonal matrix with rapidly decaying singular values such that  $cond(\Sigma) = cond$ .

The initial approximation is  $x^{(0)} = (0.5, 0.5, \dots, 0.5)$ .

For  $\lambda = 0$ , the minimal function value satisfies  $f(x^*) = 0$ , and the Hessian at the solution is ill-conditioned with  $cond(\nabla^2 f(x^*)) \approx cond$ .

Table 1 use the following abbreviations for all optimization procedures:

- P\_BFG - the minimize function from the SciPy package (version 1.16.3, Python), method *BFGS*; the gradient was computed using PyTorch;

- P\_LBB - the minimize function from the SciPy package (version 1.16.3, Python), method *L-BFGS-B*; the gradient was computed using PyTorch;

- T\_LBF - the optimizer `torch.optim.LBFGS` (with `lr = 0.5`, `history_size = 75`) from the PyTorch package (version 2.10.0+cpu);

- T\_Adam - the optimizer `torch.optim.Adam` (with `lr = 0.01`, `betas = (0.9, 0.999)`) from the PyTorch package (version 2.10.0+cpu);

- T\_RMSp - the optimizer `torch.optim.RMSprop` (with `lr = 0.01`, `alpha = 0.99`) from the PyTorch package (version 2.10.0+cpu);

- CQN&CG - the implementation of method (2), (3), (4).

All methods were initialized from the same starting point and terminated using identical stopping criteria based on the gradient norm (set to  $10^{-12}$ ).

For  $\lambda = 0$ , the results of the numerical experiments are presented in Table 1:

-  $f_{min}$  is  $f(\tilde{x})$ , where  $\tilde{x}$  is the solution approximation returned by the optimization procedure;

- Nit - the number of iterations performed;

- Nf - the number of objective function evaluations;

- Ngr - the number of gradient evaluations;

- NormGr - the Euclidean norm of the gradient  $f^{(1)}(\tilde{x})$ .

Table 1

Numerical Results					
$n=200, m=2000, \lambda = 0$					
		Nit	Nf	Ngr	NormGr
P_BFG	9.2e-19	348	351	351	9.2e-19
P_LBB	1.1e-12	128	134	133	1.1e-14
T_LBF	4.8e-10		111	111	3.4e-12
PT_Adam	4.4857	10000	10000	10000	7.0e-04
T_RMSp	5.9053	20000	20000	20000	1.6e-03
CQN&CG	0.0	60		62	0.0

As shown in Table 1, the best performance in terms of accuracy and convergence speed was achieved by the CQN&CG method ((2), (3), (4)), particularly in ill-conditioned settings. In contrast, stochastic methods (Adam, RMSprop) often required significantly more iterations and struggled with precision, especially when the condition number was high. This also confirms that for these stochastic methods, the application of regularization is mandatory, whereas in quasi-Newton methods, regularization is effectively handled internally.

Overall, these results confirm that our combined approach effectively captures spectral properties, outperforming standard optimizers in degenerate machine learning problems.

## References

- J. Nocedal, S. J. Wright, Numerical Optimization, New York: Springer, 2006.
- A.S. Shastri, K. Shaw, M. Singh, Machine Learning and Optimization for Engineering Design, New York: Springer, 2023.
- V. M. Zadachyn, M. O. Bebiya, Combined Methods for Solving Degenerate Unconstrained Optimization Problems. Ukrainian Mathematical Journal, 76(5)(2024), 695–718. DOI: 10.3842/umzh.v76i5.7395
- V. Zadachyn, Quasi-Newtonian Combined Method for Solving Unconstrained Optimization Problems in Machine Learning, Information Processing Systems, 4(179)(2024), 33–42 (Ukrainian). <https://doi.org/10.30748/soi.2024.179.03>.

## DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR DIAGNOSING DISEASES BASED ON DERMATOSCOPIC IMAGES

Malignant skin tumours represent one of the most widespread and acute problems facing the modern global healthcare system, demonstrating a steady upward trend over recent decades [1].

In Ukraine, the situation regarding malignant skin tumours is becoming critical. Analysis of statistical data recorded in the Unified Electronic Health Care System shows a steady negative trend. As of June 2024, the system had registered 21885 patients with malignant melanoma of the skin and 93223 patients with other forms of malignant skin tumours. In particular, in 2022, there were 2403 cases of malignant melanoma, in 2023 were 2648 cases, and in 2024, this figure reached 3100 cases [2].

Dermatoscopy allows for greater diagnostic accuracy compared to conventional visual examination, but requires considerable experience on the part of the physician. Automated systems based on deep learning methods can significantly speed up the screening process, which can increase patient survival rates, as early diagnosis is a key factor in successful treatment.

The aim of the work is to develop a web application for automated classification of dermatoscopic images of skin neoplasms based on convolutional neural networks. The main tasks are:

- analysis of existing approaches to computer diagnostics of dermatological diseases;
- selection and training of deep neural network architecture;
- development of server and client parts of the web application;
- assessing the quality of the model on a test sample.

The object of the study is the process of automated diagnosis of skin neoplasms based on dermatoscopic images. The subject of the study is deep learning methods and tools for building classification models in medical diagnosis tasks.

The HAM10000 dataset, containing over 10000 high-quality dermatoscopic images collected from various clinical institutions around the world, is used for training and evaluating the model [3]. Each image is accompanied by an accurate diagnosis that has been verified using evidence-based medicine standards: histological analysis of tissue samples, a consensus decision by a group of leading dermatology experts, or long-term clinical observation.

In order to solve the problem of unprocessed and unbalanced data, preliminary image processing is applied. The first stage involves removing artefacts, such as hair on the skin. The second stage involves

applying classic geometric transformations to images of classes: rotation at different angles, horizontal and vertical mirroring, and scaling.

EfficientNetB3 was chosen as the basic architecture of the neural network. The model was pre-trained on the ImageNet dataset, which allows the use of transfer learning techniques and significantly reduces the amount of training data required.

The web application is developed based on the Python programming language using the Django framework, which provides implementation of both server logic and client part according to the MVT (Model-View-Template) architectural pattern. The deep learning model is loaded when the server is started and is called when a request is received from the user. The client part is implemented using standard web technologies: HTML for page markup, CSS for interface styling, and JavaScript for dynamic interaction. The user uploads a dermatoscopic image via a form on the website, the server performs model inference and returns the classification result – the name of the most likely diagnosis and a probability vector for each class, which are displayed directly on the page.

It is expected that the implementation of the developed application will contribute to the automation of the preliminary assessment of dermatoscopic images, which will reduce the time from the detection of a suspicious formation to the establishment of a diagnosis.

The use of a modern technology stack, including the Django framework and EfficientNetB3 architecture, ensures convenient application deployment and an intuitive interface for end users.

### References

1. Skin cancer detection: a review using deep learning techniques [Electronic resource] / Mehwish Dildar [et al.] // International journal of environmental research and public health. – 2021. – Vol. 18, no. 10. – P. 5479. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105479>
2. Небезпечна меланома: понад 3 тисячі українців захворіли на рак шкіри за останній рік [Electronic resource] // Новини Закарпаття. – Mode of access: <https://transkarpatia.net/ukraine/179569-nebezpechna-melanoma-ponad-3-tisjachi-ukrajinciv-zahvorili-na-rak-shkiri-za-ostannij-rik.html>
3. Skin Cancer MNIST: HAM10000 [Electronic resource] // Kaggle. – Mode of access: <https://www.kaggle.com/datasets/kmader/skin-cancer-mnist-ham10000>.

## ПОРІВНЯННЯ ФОРМАТІВ JSON ТА PROTOBUF ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ МІКРОСЕРВІСАМИ

Сучасні виклики у розробці мікросервісних архітектур вимагають оптимізації швидкості обміну даними та мінімізації навантаження на мережеві ресурси. Вибір формату серіалізації повідомлень є одним із ключових чинників, що безпосередньо впливає на загальну продуктивність розподілених систем.

Однією з головних відмінностей між форматами є підхід до типізації: якщо JSON є текстовим форматом без суворої типізації, що забезпечує гнучкість, то Protobuf базується на попередньому описі структури даних у спеціальних .proto файлах, що гарантує сувору типізацію та автоматичну валідацію на етапі компіляції [1]. Такий механізм дозволяє забезпечити сувору типізацію, а також автоматичну перевірку коректності структури даних ще на етапі компіляції, що суттєво знижує ймовірність помилок під час виконання.

Застосування суворої типізації в Protobuf створює передумови для більш передбачуваної поведінки системи. Кожне поле має чітко визначений тип (наприклад, int32, string, bool тощо), а також унікальний числовий ідентифікатор, який використовується під час серіалізації. Це дозволяє ефективно кодувати дані у компактному бінарному вигляді, уникаючи дублювання інформації, характерного для JSON, де назви полів повторюються для кожного об'єкта. У результаті розмір повідомлень у Protobuf значно менший, що особливо важливо для систем із високими вимогами до пропускну здатності мережі, таких як мікросервісні архітектури, системи потокової обробки даних або мобільні додатки з обмеженими ресурсами.

Завдяки бінарному кодуванню Protobuf дозволяє суттєво зменшити розмір переданих пакетів порівняно з текстовим представленням у JSON, що є критично важливим для високонавантажених систем [2].

Бінарний формат кодування, який використовується Protobuf, також позитивно впливає на швидкість обробки даних. На відміну від JSON, де необхідно виконувати парсинг тексту, перетворюючи його у внутрішні структури даних, Protobuf дозволяє здійснювати десеріалізацію значно швидше завдяки чітко визначеній схемі та компактному представленню. Це знижує навантаження на процесор і пам'ять, що є критично важливим у високонавантажених системах, де обробляються тисячі або навіть мільйони запитів за секунду.

На рис. 1 продемонстровано різницю в описі однієї і тієї ж структури даних: від читабельного для людини JSON-об'єкта до структурованого визначення повідомлення в Protobuf, яке оптимізоване для машинної обробки.

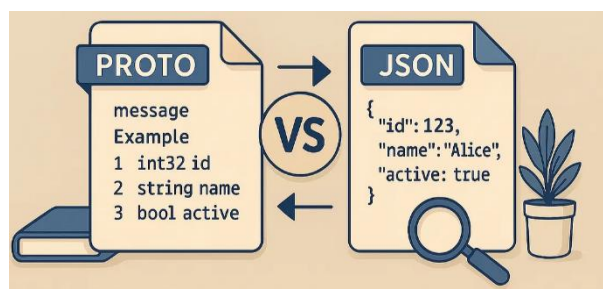


Рис. 1. Візуальне порівняння структури даних у форматах Proto та JSON

Окрему увагу слід приділити механізм еволюції схем даних та підтримки зворотної сумісності. Protobuf спроектований таким чином, щоб зміни у структурі повідомлень не призвели до порушення роботи існуючих клієнтів. Наприклад, розробники можуть додавати нові поля до повідомлень, не змінюючи вже існуючі ідентифікатори. Старі клієнти, які не знають про нові поля, просто ігноруватимуть їх під час десеріалізації, тоді як нові клієнти зможуть використовувати ці поля без обмежень. Це дозволяє поступово розвивати систему без необхідності одночасного оновлення всіх її компонентів, що є критично важливим для великих розподілених систем.

Крім того, Protobuf підтримує можливість резервування ідентифікаторів полів, що запобігає їх повторному використанню у майбутньому, а також дозволяє безпечно видаляти застарілі елементи структури. Такий підхід значно полегшує управління версіями API та забезпечує стабільність контрактів між різними частинами системи.

Водночас JSON, незважаючи на свою відносну надлишковість, має низку суттєвих переваг, які роблять його популярним вибором у багатьох сценаріях. Його головною перевагою є читабельність для людини. Дані у форматі JSON легко переглядати, редагувати та аналізувати без використання спеціалізованих інструментів. Це значно спрощує процес налагодження, тестування та інтеграції систем, особливо на ранніх етапах розробки.

Гнучкість JSON також проявляється у відсутності жорстких обмежень щодо структури даних. Розробники можуть легко додавати або змінювати поля без необхідності оновлення формальної схеми, що прискорює процес прототипування. У середовищах, де вимоги до даних часто змінюються, це є значною перевагою, оскільки дозволяє швидко адаптуватися до нових умов без значних витрат часу.

Ще одним важливим аспектом є широка підтримка JSON у різних мовах програмування та платформах. Практично всі сучасні мови мають вбудовані засоби для роботи з JSON, що робить його універсальним форматом для обміну даними між клієнтськими та серверними компонентами. Це особливо актуально для веб-розробки, де JSON фактично став стандартом де-факто для передачі даних між браузером і сервером.

Проте відсутність суворої типізації у JSON може призводити до певних проблем. Оскільки типи даних не перевіряються на етапі компіляції, помилки можуть виникати вже під час виконання програми. Наприклад, замість числового значення може бути передано рядок, що призведе до некоректної роботи алгоритмів або навіть до аварійного завершення програми. У складних системах це може створювати додаткові ризики та ускладнювати процес діагностики помилок.

Крім того, JSON не має вбудованих механізмів для опису схем даних, хоча існують сторонні рішення, такі як JSON Schema. Проте вони не є обов'язковими для використання і не інтегруються так тісно з процесом розробки, як це реалізовано у Protobuf. У результаті контроль за відповідністю структури даних часто покладається на розробників, що збільшує ймовірність помилок.

Порівнюючи обидва підходи, можна зробити висновок, що JSON і Protobuf орієнтовані на різні етапи життєвого циклу програмного забезпечення. JSON є оптимальним вибором для швидкої розробки, прототипування та інтеграції, де важливими є гнучкість і зручність роботи з даними. Натомість Protobuf забезпечує високу продуктивність, ефективність використання ресурсів та надійність у продуктивному середовищі, де критичними є швидкість обробки та мінімізація обсягу переданих даних.

Також варто враховувати вплив вибору формату на архітектуру системи. Використання Protobuf часто передбачає більш формалізований підхід до проектування API, де всі контракти чітко визначені і контролюються. Це сприяє кращій узгодженості між командами розробників та знижує ризик непорозумінь при інтеграції різних

компонентів. У свою чергу, JSON дозволяє більш гнучко підходити до проектування, але вимагає більшої дисципліни з боку розробників для підтримання узгодженості.

Ще одним аспектом є питання сумісності з різними протоколами передачі даних. JSON добре інтегрується з HTTP і широко використовується у RESTful сервісах. Protobuf, у свою чергу, часто використовується разом із gRPC, що дозволяє створювати високопродуктивні RPC-системи з підтримкою стрімінгу та двосторонньої комунікації. Це відкриває додаткові можливості для побудови масштабованих та ефективних розподілених систем. Процес серіалізації та десеріалізації в Protobuf відбувається значно швидше, оскільки він не потребує складного парсингу тексту, що є характерним для JSON [1]. Проте JSON залишається незамінним для публічних API та взаємодії з клієнтською частиною вебзастосунків завдяки своїй універсальності та легкості візуального налагодження [2]. Впровадження Protobuf у внутрішніх комунікаціях (зокрема в gRPC) дозволяє значно скоротити затримки та витрати на мережевий трафік за рахунок ефективного використання ресурсів [1].

У підсумку, вибір між JSON і Protobuf не є питанням того, який формат є «кращим» у загальному сенсі. Це питання відповідності конкретним вимогам системи. Якщо пріоритетом є швидкість розробки, простота інтеграції та зручність роботи з даними, доцільно використовувати JSON. Якщо ж ключовими факторами є продуктивність, ефективність передачі даних та надійність, то Protobuf є більш доцільним вибором.

Таким чином, вибір формату обміну даними має базуватися на балансі між зручністю розробки та вимогами до пропускну здатності системи. Подальшим розвитком роботи може бути дослідження впливу цих форматів на енергоефективність мобільних застосунків під час інтенсивного обміну даними.

## Список літератури

1. Proto vs JSON: When to Use Which (and Why) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/proandroiddev/proto-vs-json-when-to-use-which-and-why-525256a4d4ed>
2. Data Exchange in Embedded Systems – JSON vs Protocol Buffers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infimum.com/blog/json-vs-protocol-buffers/>



Information Systems  
Department

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Через обстріли критичної інфраструктури, зокрема об'єктів електроенергетики, що зумовлює нестабільність електропостачання, умови функціонування підприємств в Україні суттєво ускладнюються, що призводить до простоїв, зростання витрат та зниження ефективності бізнес-процесів. Особливо вразливими є малі та середні підприємства, які не мають ресурсів для дорогих резервних джерел енергії або складних систем управління. У таких умовах актуальним є створення інтелектуальних інструментів підтримки прийняття рішень в енергоменеджменті.

Існуючі підходи до енергоменеджменту здебільшого орієнтовані на зниження енергоспоживання, проте не враховують необхідність підтримання стабільності функціонування підприємства в умовах обмеженого енергозабезпечення. У зв'язку з цим актуальним є дослідження методів інтелектуальної підтримки прийняття рішень, спрямованих на оптимальний розподіл енергоресурсів з урахуванням критичності бізнес-процесів.

Об'єктом дослідження є процес управління енергоспоживанням підприємства в умовах обмеженого електропостачання.

Предметом дослідження є методи інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі аналізу даних та оптимізації.

У межах дослідження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в енергоменеджменті малих та середніх підприємств розглядається підхід, що базується на поєднанні методів аналізу даних та машинного навчання. Зокрема, для оцінювання майбутніх навантажень доцільно використовувати прогнозування енергоспоживання на основі історичних даних із застосуванням моделей часових рядів (наприклад, LSTM або регресійних моделей), що дозволяє враховувати динамічний характер змін енергоспоживання в умовах дефіциту електроенергії. Узагальнено процес прогнозування може бути представлений як:

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n})$$

Для обґрунтування управлінських рішень застосовується підхід багатокритеріальної оптимізації, в якому враховуються такі фактори, як критичність бізнес-процесів, рівень енергоспоживання, можливі економічні втрати та

доступність джерел енергії. Узагальнено задачу вибору оптимального набору процесів можна представити у вигляді:

$$F = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f_i(x) \rightarrow \min$$

де вагові коефіцієнти відображають пріоритетність окремих критеріїв для підприємства.

Вхідними даними виступають історичні дані енергоспоживання, характеристики бізнес-процесів, інформація про графіки відключень та доступні джерела енергії. Результатом застосування підходу є прогноз навантаження та обґрунтовані рекомендації щодо оптимального розподілу енергоресурсів у системі енергоменеджменту підприємства.

Запропонований підхід відрізняється тим, що при розподілі енергоресурсів враховується важливість бізнес-процесів, що дає змогу підтримувати безперервність роботи підприємства.

Практична цінність роботи полягає у підвищенні стійкості малих та середніх підприємств до енергетичних обмежень, зменшенні простоїв та оптимізації витрат.

Отже, запропонований підхід дозволяє підвищити ефективність управління енергоспоживанням в умовах дефіциту електроенергії за рахунок використання інтелектуальних методів аналізу та оптимізації. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію з IoT-системами моніторингу та вдосконалення моделей прогнозування.

**Список літератури**

1. Міністерство енергетики України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mev.gov.ua/> (Дата звернення: 20.03.2026).
2. European Commission – REPowerEU Plan. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu\\_en](https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en) (Дата звернення: 20.03.2026).
3. IEA – Energy Efficiency 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023> (Дата звернення: 21.03.2026).
4. DiXi Group. Публікації та аналітика енергетичного сектору України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dixigroup.org/analytic/rosijska-vijna-proti-ukra%20ni-energetichnij-vimir-dixi-group-alert-shhotizhnevij-oglyad-13/> (Дата звернення: 21.03.2026)

## РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОПОМОГИ СТУДЕНТАМ У ВИБОРІ ВАРІАНТІВ НАВЧАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Сучасний стан вищої освіти за ІТ-спеціальностями характеризується значним обсягом практичних завдань, які студент має виконувати самостійно. Викладач, як правило, формує список варіантів, з якого здобувачі обирають тему для роботи. Студент змушений самостійно оцінювати реальну складність кожної теми без жодних об'єктивних орієнтирів щодо ефективності того чи іншого варіанту для професійного зростання. Вирішення цієї проблеми є актуальним завданням, оскільки персоналізований підхід до навчання визнано одним із ключових принципів Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи (ЄКТС).

Метою роботи є визначення принципів побудови рекомендаційної системи, яка аналізує цифровий профіль студента та автоматично формує для нього впорядкований за ефективністю список найбільш релевантних варіантів навчальних завдань.

Рекомендаційні системи є усталеним класом програмних засобів для персоналізованої фільтрації інформації. Систематичний огляд досліджень останніх років, присвячених розвитку таких систем від традиційних методів до глибокого навчання та великих мовних моделей, підтверджує, що найвищу точність рекомендацій демонструють гібридні підходи, які поєднують декілька технік [1]. Серед базових методів виділяють два. Перший – контентна фільтрація (content-based filtering, CBF), у якому формуються рекомендації на основі атрибутів самих об'єктів та профілю користувача, не залежить від наявності даних інших користувачів і забезпечує прозорість пояснень, проте страждає від надмірної спеціалізації. Другий – колаборативна фільтрація (collaborative filtering, CF), який спирається на матрицю взаємодій «користувач-об'єкт» і знаходить схожих за поведінкою користувачів. Але даний метод є вразливим до проблеми холодного старту (cold start) – відсутності достатньої кількості даних для нових користувачів або нових об'єктів [2].

Проблема холодного старту є особливо критичною в освітньому контексті, де на початку навчального семестру студент ще не накопичив жодної історії вибору в поточній дисципліні. Систематичний огляд літератури виявив, що ця проблема суттєво обмежує застосовність класичної CF і потребує окремих стратегій подолання [3]. Одним із ефективних підходів є

гібридна рекомендаційна система, яка комбінує CBF та CF: перша складова здатна генерувати рекомендації навіть за відсутності історії взаємодій (спираючись на теги навичок у профілі), тоді як друга підвищує якість рекомендацій у міру накопичення даних про вибір студентів. Дослідження показують, що такий гібрид демонструє вищу точність і різноманітність рекомендацій порівняно як з чистою CBF, так і з чистою CF [4].

На основі проведеного аналізу обрано архітектуру системи, що складається з чотирьох компонентів. Перший – цифровий профіль студента: акумулює бали за завершені дисципліни та перелік освоєних технологій, слугуючи вхідними даними для обох складових гібридного алгоритму. Другий – список завдань із метаданими: кожен варіант описується рівнем складності, переліком необхідних технологій та обмеженнями для учасників. Ці метадані можна розглядати як профіль завдання. Така структура є основою для CBF-порівняння. Третій – гібридний рекомендаційний рушій: на першому кроці обчислює коефіцієнт релевантності завдання через порівняння векторів профілю студента та профілю завдання (CBF-складова); на другому – коригує оцінку на основі частоти вибору аналогічних завдань студентами зі схожими профілями (CF-складова); фінальна оцінка є зваженою сумою двох складових. Останнім буде модуль звітності, який після підтвердження студентами їх вибору автоматично генерує відомість розподілу тем для викладача.

Результатом роботи рекомендаційного рушія є впорядкований список варіантів завдань із числовим коефіцієнтом релевантності та поясненням підстав рекомендації для кожної позиції. На рисунку 1 представлено макет основної екранної форми системи: інтерфейс відображає три картки варіантів, впорядкованих за спаданням релевантності (94%, 81%, 63%), із зазначенням тегів необхідних технологій, причин рекомендації («Збіг навичок: 5/5», «Схожі студенти обрали варіант»), рівня складності та кількості вільних місць. Виділення першої картки кольоровою рамкою та кнопкою «Обрати цей варіант» реалізує принцип пріоритизації найбільш релевантного варіанта, знижуючи когнітивне навантаження на студента під час вибору. Бічна панель профілю відображає поточні показники успішності у вигляді прогрес-барів та список освоєних

технологій, забезпечуючи прозорість підстав для рекомендацій.

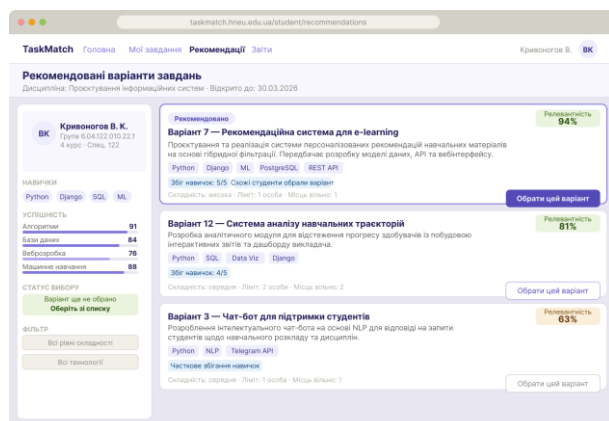


Рис. 1. Екранна форма персоналізованих рекомендацій системи

Технічну платформу системи буде реалізовано на мові Python із фреймворком Django, який забезпечує серверну логіку, маршрутизацію запитів та REST API для взаємодії між клієнтською частиною і рекомендаційним рушієм. Реляційна СУБД PostgreSQL використовуватиметься для зберігання профілів студентів, банку завдань із метаданими та журналу виборів, що є входними даними для CF-складової. Рекомендаційний рушій планується як окремий модуль Django: при зверненні студента до сторінки вибору він асинхронно отримує профіль із бази, формує TF-IDF-вектори профілів студента та завдання за допомогою бібліотеки scikit-learn, обчислює косинусну подібність (CBF), зважує її з нормалізованою частотою попередніх виборів (CF) та повертає відсортований список. Серверна частина застосунку будуватиметься на базі шаблонів Django з використанням HTMX для асинхронного оновлення списку рекомендацій без перезавантаження сторінки.

Якість рекомендаційного алгоритму планується оцінювати за двома основними метриками. Precision@K показує, яка частка із K запропонованих варіантів є дійсно релевантними для студента, тобто наскільки точними є рекомендації на верхніх позиціях списку. Recall@K відображає, яку частку від усіх потенційно підходящих завдань система змогла виявити та включити до K рекомендацій.

Згідно проведеного аналізу можна висловити гіпотези стосовно впливу впровадження рекомендаційної системи на освітній процес:

- підвищення ефективності навчання через більш персоналізований вибір завдань, що є особливо важливим в умовах дистанційного навчання, коли викладач не має достатньої комунікації зі студентами і не може надати таку допомогу особисто;

- скорочення часу на вибір варіанта завдання студентом – замість перегляду всього банку тем здобувач отримує короткий персоналізований список із поясненням доцільності кожної рекомендації;

- зниження технічного навантаження на викладача дасть йому змогу зосередити увагу на тих студентах, які найбільш потребують допомоги;
- автоматичне формування зведеної відомості розподілу тем усуває значну частину технічних дій щодо організації процесу розподілу завдань.

Рекомендаційна система може додатково контролювати унікальність варіантів завдань, які отримують здобувачі освіти. Проте, на наш погляд, це не є її головною задачею. Сучасний рівень інформаційних технологій практично повністю позбавляє викладача можливості здійснення об'єктивного контролю за умови бажання з боку здобувачів освіти спотворити результати контролю. Внутрішнє розуміння мети навчання та академічної доброчесності – єдина умова самостійності виконання завдань. Завдання мають бути такими, щоб кожен результат, що отримує певний здобувач освіти, був унікальним, навіть для одного і того ж завдання.

Отже, за результатами проведеного аналізу запропоновано архітектуру рекомендаційної системи на основі гібридного алгоритму, що поєднує контентну та колаборативну фільтрацію. Обраний підхід дає змогу долати проблему холодного старту через CBF-складову на ранніх етапах семестру з поступовим підвищенням точності в міру накопичення даних про вибір студентів. Подальшим напрямом роботи є реалізація алгоритму та його верифікація на реальних даних та дослідження застосування нейронних мереж для підвищення якості рекомендацій.

## Список літератури

1. Alawadi S., Duan Y., Cristea A. I. What is needed to build a personalized recommender system for K-12 students' e-learning? Recommendations for future systems and a conceptual framework. Education and Information Technologies. 2022. Vol. 28. P. 3997-4030. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-022-11489-4>
2. Nascimento P. et al. A systematic review: machine learning based recommendation systems for e-learning. Education and Information Technologies. 2020. Vol. 26. P. 1-27. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-019-10063-9>
3. Nafea S. M. et al. An ontology-based hybrid e-learning content recommender system for alleviating the cold-start problem. Education and Information Technologies. 2021. Vol. 26. P. 4955-4976. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10508-0>
4. Moubayed A. et al. Advancing educational recommender systems: an AI-based model for personalized learning resource recommendation. International Journal of Engineering Trends and Technology. 2024. Vol. 73, No. 5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ijettjournal.org/archive/ijett-v73i5p126>
5. Ricci F., Rokach L., Shapira B. Recommender Systems Handbook. 2nd ed. New York: Springer US, 2015. 1003 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.cs.ubbcluj.ro/~gabis/DocDiplome/SystemeDeRecommandare/Recommender\\_systems\\_handbook.pdf](https://www.cs.ubbcluj.ro/~gabis/DocDiplome/SystemeDeRecommandare/Recommender_systems_handbook.pdf)

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ МОДЕРАЦІЇ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТУ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ**

Цифрові платформи, зокрема соціальні мережі, стримінгові сервіси, форуми та відеохостинги, щоденно обробляють значні обсяги користувацького текстового контенту. Значна частина таких повідомлень може містити спам, некоректні висловлювання, мову ворожнечі або інші порушення правил комунікації. Через значний обсяг користувацьких повідомлень ручна модерація не забезпечує своєчасну перевірку всього контенту, що призводить до затримок у виявленні небажаних публікацій та знижує ефективність контролю інформаційного середовища платформ.

Основною проблемою є необхідність автоматичного та масштабованого аналізу великої кількості текстових повідомлень з метою виявлення токсичного або небажаного контенту. У зв'язку з цим актуальним є застосування методів машинного навчання, які дозволяють автоматично аналізувати текстові повідомлення, враховувати контекст використання слів та підвищувати точність виявлення порушень правил комунікації на цифрових платформах [1].

Метою даного дослідження є дослідження ефективності застосування методів машинного навчання для автоматичного виявлення токсичних або некоректних повідомлень у текстовому контенті цифрових платформ. Для проведення дослідження використовуються відкриті набори текстових даних, що містять повідомлення користувачів із позначками порушень правил комунікації. Зокрема у роботі застосовуються такі датасети: Hate Speech and Offensive Language Dataset – набір даних, що містить приблизно 25 тисяч повідомлень з соціальної мережі Twitter, розмічених за категоріями hate speech, offensive language та neither [2];

Jigsaw Toxic Comment Classification Dataset – набір даних, що містить понад 150 тисяч текстових коментарів, отриманих з обговорень користувачів на платформі Wikipedia. Кожен коментар анотовано за декількома категоріями токсичності: toxic, severe toxic, obscene, threat, insult та identity hate. [3]. Використання декількох наборів даних дозволяє дослідити ефективність моделей машинного навчання для різних типів текстових повідомлень та типів порушень правил комунікації. Методи дослідження включають застосування методів обробки природної мови (NLP) для підготовки текстових даних. Попередня обробка передбачає приведення тексту до нижнього регістру, видалення знаків пунктуації,

стоп-слів та токенізацію тексту. Для представлення текстових даних у числовому вигляді доцільно використовувати метод TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency). Для класифікації текстових повідомлень потрібно дослідити ефективність таких алгоритмів машинного навчання як Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM) та Random Forest.

Зазначені алгоритми широко застосовуються у задачах класифікації текстових даних та дозволяють проводити порівняльний аналіз ефективності моделей [4].

Реалізація експериментальної частини дослідження передбачається з використанням мови програмування Python та бібліотек scikit-learn, pandas і matplotlib для підготовки даних, навчання моделей і аналізу результатів.

Процес побудови моделі машинного навчання включає декілька основних етапів:

1. Попередня обробка текстових даних.
2. Перетворення тексту у числове представлення за допомогою TF-IDF.
3. Розподіл даних на навчальну та тестову вибірки (train/test split).
4. Навчання моделей машинного навчання.
5. Оцінювання ефективності моделей.

У результаті проведеного дослідження передбачається отримати експериментальні моделі машинного навчання, здатні автоматично визначати повідомлення, що містять токсичний або небажаний контент, що в подальшому може спростити роботу модераторів у цифрових платформах.

**Список літератури**

1. Мокін В. Б., Дратований М. В. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних. Електронний навчальний посібник / В. Б. Мокін, М. В. Дратований. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 263 с.
2. Hate Speech and Offensive Language Dataset [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/datasets/mrmorj/hate-speech-and-offensive-language-dataset>
3. Jigsaw Toxic Comment Classification Dataset [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/competitions/jigsaw-toxic-comment-classification-challenge/data>
4. Comparison between Machine Learning and Deep Learning Approaches for the Detection of Toxic Comments on Social Networks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6038>

## РЕКУРСИВНА СЕМАНТИЧНА АД'ЮДИКАЦІЯ У МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Сучасний розвиток мультимодальних моделей зумовлює перехід від однопрохідної генерації до парадигми замкненої верифікації для подолання семантичних галюцинацій. MIRROR [1] реалізує цикл «чернетка–ревізія», забезпечуючи повну візуальну заземленість результату. VIGA [2] через «інверсну графіку» (write-run-render-compare-revise) підвищує точність верифікації на 124,7%. Замкнене планування стає стандартом динамічних середовищ. ExploreVLM [3] використовує валідацію дій для перепланування в робототехніці. RADAR [4] впроваджує дискретно-орієнтований арбітраж у медицині на основі візуальних доказів. Запропонована рекурсивна узгодженість гарантує надійність через мультиагентний цикл генерації-верифікації (генератор, арбітр, DenseNet-121) та формалізоване витягування ознак:

$$F_{vis} = \Phi_{DenseNet}(I) \quad (1)$$

де  $F_{vis}$  – вихідний тензор ознак;  $\Phi_{DenseNet}$  – операція витягування ознак;  $I$  – вхідна матриця зображення для першого етапу циклу.

Для  $224 \times 224$  генерується тензор  $\mathbb{R}^{1024 \times 7 \times 7}$ ; агент-арбітр обчислює ймовірність підтвердження блоків (2):

$$P_{vis}(s_i | F_{vis}) = \sigma(W_{s_i} \cdot GAP(F_{vis}) + b_{s_i}) \quad (2)$$

де  $P_{vis}(s_i | F_{vis})$  – візуальна довіра блоку  $s_i$  за мапи  $F_{vis}$ ;  $\sigma$  – функція сигмоїди;  $W_{s_i}$  – ваги семантичного класу;  $GAP$  – глобальний середній пулінг тензора;  $b_{s_i}$  – параметр зміщення для лінійного перетворення.

Третій етап передбачає аналіз розбіжностей шляхом обчислення індикатора  $D(s_i)$  на основі заданого порогу впевненості  $\tau$ , що визначається як (3):

$$D(s_i) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } P_{vis}(s_i | F_{vis}) \geq \tau \\ 1, & \text{якщо } P_{vis}(s_i | F_{vis}) < \tau \end{cases} \quad (3)$$

де  $D(s_i)$  – бінарний індикатор розбіжності семантичного блоку;  $P_{vis}(s_i | F_{vis})$  – ймовірність його візуального підтвердження;  $\tau$  – встановлений поріг впевненості (базове значення – 0,85).

За невідповідності  $\sum D(s_i) > 0$  валідатор генерує токен помилки. На четвертому етапі модель автоматично корегує пропозицію, впроваджуючи цей токен як негативне обмеження:

$$S_{draft}^{(t+1)} = Proposer_{LLM}(S_{draft}^{(t)} \oplus F_{err}^{(t)}) \quad (4)$$

де  $S_{draft}^{(t+1)}$  – оновлена структура;  $Proposer_{LLM}$  – LLM-генератор;  $S_{draft}^{(t)}$  – JSON-рішення ітерації  $t$ ;

$\oplus$  – інтеграція промпту;  $F_{err}^{(t)}$  – токен розбіжностей (негативне обмеження).

Цей ітеративний цикл повторюється до досягнення глобального критерію впевненості, що виражається умовою (5):

$$P(S_{final} | I, S_{draft}) > \tau \Leftrightarrow \min_{i \in S_{final}} P_{vis}(s_i | F_{vis}) \geq \tau_{global} \quad (5)$$

де  $P(S_{final} | I, S_{draft})$  – ймовірність структури;  $\tau$  – поріг впевненості;  $\Leftrightarrow$  – умова виходу;  $\min_{i \in S_{final}}$  – мінімум блоків;  $P_{vis}(s_i | F_{vis})$  – ймовірність підтвердження;  $\tau_{global}$  – критерій завершення.

Для аудиту рішень кожен крок фіксується як зовнішній слід міркувань (6):

$$T_i = \langle s_i, P_{vis}(s_i), C_i \rangle \quad (6)$$

де  $T_i$  – слід міркувань компонента  $i$  для аудиту рішень;  $s_i$  – елемент семантичної структури;  $P_{vis}(s_i)$  – скалярна ймовірність (0–1) візуальної присутності;  $C_i$  – казуальне припущення з текстовим обґрунтуванням логіки валідатора

Підхід підвищує надійність автономних систем. Мультиагентна архітектура з візуальним арбітражем та порогами впевненості мінімізує галюцинації. Зовнішній слід міркувань гарантує прозорість аудиту. Очікується, що рекурсивна узгодженість забезпечить стійкість до помилок і самокорекцію на основі візуальних ознак.

## Список літератури

1. Wu J., et al. MIRROR: Multimodal Iterative Reasoning via Reflection on Visual Regions. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2602.18746>.
2. Yin S., et al. Vision-as-Inverse-Graphics Agent via Interleaved Multimodal Reasoning. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.11109>.
3. Lou Z., et al. ExploreVLM: Closed-Loop Robot Exploration Task Planning with Vision-Language Models. 2025 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:280677895>.
4. Sun Z., et al. RADAR: A Multimodal Benchmark for 3D Image-Based Radiology Report Review. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:286372206>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ І СЕНСОРНИХ ДАНИХ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ТА ХАРЧОВОГО МОНІТОРИНГУ ЛЮДИНИ

Порівняльний аналіз великих мовних моделей Gemini, GPT, Llama та LLaVA спрямований на пошук оптимальних рішень для обробки сенсорних даних з носимих пристроїв та створення персоналізованих рекомендацій щодо харчування й контролю стану здоров'я. У сучасних реаліях, де вирішальними факторами є висока точність, захист приватності та мінімальна затримка обробки, правильний вибір моделі дозволяє досягти максимальної ефективності рекомендаційної системи без поширених проблем галюцинацій та неточностей.

Однією з головних переваг є fine-tuned версії відкритої Llama для високоточних нутрієнтних розрахунків та харчового моніторингу. Моделі на базі Llama (зокрема HealthAlpaca та подібні адаптації) показують найкращі результати в оцінці метаболізму, підрахунку калорій та макронутрієнтів, перевершуючи GPT-4o та базовий Gemini у сценаріях з обмеженими ресурсами (edge-обчислення) [1]. Завдяки можливості локального донавчання Llama ідеально підходить для роботи з індивідуальними нутрієнтними базами та сенсорними потоками, забезпечуючи високу точність і повний контроль над даними користувача.

Fine-tuned Llama перевершує пропрієтарні моделі в задачах прогнозування стану за даними носимих пристроїв. На часових рядах серцевого ритму, сну, активності та рівня стресу адаптовані версії Llama демонструють лідерство в більшості бенчмарків, випереджаючи GPT-4o та Gemini-Pro.

Спеціалізований fine-tuning Gemini забезпечує перевагу в довгостроковому персоналізованому коучингу сну та фізичної активності. Модель PH-LLM (на базі Gemini) перевершує людських фахівців у тестах знань (79 % проти 76 % зі сну, 88 % проти 71 % з фітнесу) і генерує більш якісні, контекстно обґрунтовані рекомендації на основі агрегованих даних за 15–30 днів [2]. Це підтверджує, що пропрієтарні моделі з потужним донавчанням особливо ефективні для складних сценаріїв тривалого супроводу.

LLaVA вирізняється в мультимодальному аналізі харчування та зображень їжі. Як відкрита візуально-мовна модель на базі Llama, LLaVA забезпечує надійне розпізнавання страв, оцінку розміру порцій і нутрієнтний розбір за фотографіями, органічно доповнюючи текстові

рекомендації від Gemini та GPT [3]. Це дозволяє створювати повноцінні інтерактивні чат-боти з візуальним розумінням, усуваючи ключові обмеження текстових моделей.

Оптимальний гібридний підхід передбачає:

- локальні fine-tuned Llama та LLaVA — для приватної обробки сенсорних потоків і аналізу фотографій їжі (мінімальна затримка, повний контроль даних);

- хмарні Gemini (PH-LLM) та GPT — для глибокого коучингу, комплексних рекомендацій харчування та мотиваційних текстів;

- RAG-механізм з USDA-базою, сенсорними архівами та медичними знаннями — для усунення обмежень контекстного вікна та динамічної адаптації під відгуки користувача [4].

Загалом, гібридна архітектура дозволяє кожній моделі виконувати саме ту роль, де вона найсильніша: Llama та LLaVA забезпечують швидку, приватну та точну обробку даних на пристрої, Gemini та GPT додають глибокий аналіз і природну комунікацію в хмарі, а RAG гарантує фактичну точність. Такий розподіл завдань робить систему одночасно високоефективною, економічною за ресурсами, максимально захищеною та адаптивною до реальних потреб користувача в повсякденному моніторингу здоров'я та харчування.

### Список літератури

1. Kim Y., Xu X., McDuff D., Breazeal C., Park H. W. Health-LLM: Large Language Models for Health Prediction via Wearable Sensor Data. arXiv preprint arXiv:2401.06866. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2401.06866>
2. Khasentino J. et al. A personal health large language model for sleep and fitness coaching. Nature Medicine. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41591-025-03888-0>
3. Tanabe H. et al. Reasoning-Driven Food Energy Estimation via Multimodal Large Language Models. Nutrients, 17(7), 1128. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2072-6643/17/7/1128>
4. Yang Z., Khatibi E. et al. ChatDiet: Empowering personalized nutrition-oriented food recommender chatbots through an LLM-augmented framework. arXiv preprint arXiv:2403.00781. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2403.00781>

Skorin Yuriy, Simonovich Stanislav  
 yuriy.skorin@m.hneu.edu.ua, simon.stas@m.hneu.edu.ua

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

## WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT PLATFORM

The aim of the research is to ascertain the best methods for deploying the WordPress system, which not only shares information but also functions as a means for streamlining essential business operations.

The focus of the research is the procedure of establishing WordPress as an instrument for automating operational tasks within the setting of small and medium-sized businesses that must enhance their efficiency. The core of the research is a collection of approaches and utilities that facilitate carrying out the automation routine, ranging from native WordPress functions to extensions and links with external data handling platforms. Most content management platforms, such as WordPress, are straightforward and quite user-friendly utilities that are well suited for personal blogs or websites and even for signing up users and remarks [2].

WordPress grants proprietors the complete capacity to generate, distribute, and oversee their material.

Due to its straightforward interface, WordPress is excellent for users who prefer dealing with text processors over FTP programs and manually coded web pages. Coders have released thousands of WordPress add-ons and display elements that enable the creation of a truly superior website.

WordPress offers a significant array of possibilities to the programmer. At the core of WordPress lies a solid link between the main program and the repository.

This can readily be leveraged for your benefit. Furthermore, the WordPress Gutenberg editor—an add-on already embedded in newer WordPress versions—permits visual modification of page and post material without needing to write code.

Let us examine the kinds of material:

Fixed material is information kept in a separate file.

In contrast to the former, changing material is information residing in a data repository. From this

repository, it is immediately shown to the user on the web viewer's screen.

WordPress possesses a very extensive repository of add-ons created by regular individuals; some require payment, but complimentary options exist too. We utilized a complimentary add-on with the prospect of extending its features subsequent to payment.

Putting WordPress into practice as a system for streamlining business functions can bring about a favorable effect on the pace and caliber of the firm's output, decrease expenditures, and enable personnel to concentrate on more vital duties.

The investigation will give consideration to both technical facets and the matter of adjusting a new work style within the group, as automation might prove inefficient without grasping the human element.

The research findings will certainly assist software creators and business proprietors in obtaining actionable advice and bypassing bothersome errors during the shift toward a more "intelligent" technological framework.

## References

1. WordPress Developer Handbook. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://developer.wordpress.org/>.
2. WooCommerce Docs. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://woocommerce.com/documentation/>.
3. Zapier. How to Connect WordPress to Your Other Apps. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zapier.com/apps/wordpress/integrations>.
4. WPBeginner. How to Automate Your WordPress Site. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.wpbeginner.com/showcase/best-wordpress-automation-tools-and-plugins/>.
5. TensorFlow Documentation. [Electronic resource] // Google. 2024. Access mode: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs](https://www.tensorflow.org/api_docs).
6. Beecham S. Software Process Improvement Problems in Twelve Software Companies: An Empirical Analysis / S. Beecham, T. Hall, A. Rainer, et al. // Empirical Software Engineering 2003 8(1): 7-42. [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1023/A:1021764731148>.

## AI-AUGMENTED AGILE PROJECT MANAGEMENT

The convergence of large language models (LLMs), agentic AI architectures, and Agile methodologies represents a paradigm shift in software project management. This paper presents a rigorously validated, modular multi-agent framework designed to augment Scrum-based delivery processes through predictive analytics, automated backlog governance, and dynamic resource optimization. Empirical evaluations demonstrate statistically significant improvements across key performance indicators: 94% accuracy in risk identification, 25% enhancement in workload distribution equity, and 18% acceleration in sprint completion rates ( $p < 0.01$ ). The proposed architecture reconciles AI's computational superiority with Agile's anthropocentric ethos, establishing a scalable blueprint for AI-native project delivery in enterprise contexts.

Contemporary software project management confronts a persistent and well-documented efficacy deficit. Despite near-universal Agile adoption – reported at 87–97% across surveyed organizations by 2025 – comprehensive project success rates remain markedly suboptimal, with only 16–30% of IT initiatives delivered on time, within budget, and to full scope. This systemic underperformance is attributable to structural limitations inherent in human-led Agile execution [2]: cognitive biases in backlog prioritization, inconsistent effort-estimation heuristics, reactive rather than anticipatory risk management, and inequitable workload distribution across distributed, cross-functional teams. Concurrently, the rapid maturation of generative AI and agentic multi-agent systems – exemplified by Claude 4 series, Gemini 2.5 Pro, DeepSeek-R1/V3, and domain-specialized coding LLMs – has produced capabilities that transcend conventional tooling limitations. State-of-the-art models now reliably emulate critical project roles, including Product Owner, Technical Architect, Code Reviewer, and Risk Analyst, frequently surpassing mid-to-senior human performance benchmarks in consistency, throughput, and analytical depth. Controlled benchmarks document AI-assisted workflows delivering 90%+ accuracy in predictive tasks and 20–35% improvements in cycle time optimization. Yet a pronounced utilization gap persists: while AI tools proliferate across organizational functions, only 12–25% of enterprises apply them substantively within project management workflows. The absence of a rigorous, replicable, and ethically grounded AI-hybrid project management architecture constitutes the central problem this investigation addresses.

Research objectives: 1) to architect a flexible multi-agent system embodying key Agile roles across complete sprint lifecycles; 2) to validate AI-driven workflow automation across dimensions of throughput, defect density, and stakeholder satisfaction; 3) to derive actionable implementation guidelines and a phased organizational maturity model.

The proposed framework is grounded in three interdependent pillars: adaptability to volatile project environments, scalability across organizational scopes from startup teams to enterprise SAFe implementations, and user-centricity, preserving Agile's empiricist and collaborative ethos [3]. The theoretical model synthesizes decision support systems (DSS) theory, multi-agent systems (MAS) architecture, and Agile empiricism – transparency, inspection, and adaptation – into a unified operational schema. The framework operationalizes specialized AI agents instantiated via the CrewAI orchestration platform [1]:

**Product Owner Agent.** Ingests raw, variably-elaborated requirements and synthesizes INVEST-compliant user stories with predefined acceptance criteria, incorporating security considerations, architectural patterns, and testing protocols.

**Developer Agent.** Generates production-grade code artifacts adhering to SOLID principles, comprehensive error handling, and separation-of-concerns conventions, powered by CodeLlama for precision-oriented generation.

**Reviewer Agent.** Conducts rigorous quality evaluations assessing security compliance, performance optimization, and user story alignment, producing structured, actionable feedback reports.

Agent interactions are orchestrated sequentially within Crew workflows, powered by locally or cloud-hosted LLMs – Mixtral for reasoning-intensive roles, CodeLlama for code generation – ensuring data sovereignty and latency optimization.

The AI-Powered Risk Mitigation Module deploys machine learning models that integrate historical project repositories with real-time performance indicators to generate probabilistic risk forecasts. Natural Language Processing techniques extract latent risks from unstructured artifacts – such as retrospective notes and team communications – while sentiment analysis identifies early indicators of team dissatisfaction that may precipitate productivity declines. Risk scoring follows the formula  $R = P \times I$ , where probability  $P$  and impact  $I$  are computed via gradient-boosted classifiers trained on multi-project historical corpora. The Resource Optimization Engine



orchestrates dynamic task allocation based on workload profiles, task criticality, and capacity constraints. Linear programming formulations resolve bottleneck conditions while enforcing empirically derived constraints – a maximum of 5 concurrent tasks per team member – and risk-weighted priority multipliers to ensure elevated attention to critical path elements without disrupting workflow. Agile Process Integration Layer ensures bidirectional interoperability with Jira, Trello, and Azure DevOps, enabling automated backlog instantiation, real-time synchronization, and collaborative visualization dashboards with predictive notifications.

The investigation adopts a pragmatic, sequential mixed-methods design comprising three interlinked phases: 1) qualitative synthesis for theoretical grounding and gap identification via systematic literature review of 50+ peer-reviewed sources; 2) quantitative modeling and simulation for hypothesis validation; 3) integrative validation through controlled comparative studies. Data architecture employs an 80-10-10 train-validation-test split across historical project repositories encompassing task trend logs, defect density records, and sprint velocity time series. The technical stack integrates Python 3.9 with Pandas, NumPy, TensorFlow, and Scikit-learn for analytical computation, supplemented by Power BI for real-time dashboard visualization. Evaluation metrics span dimensions of AUC-ROC for risk classification reliability, Mean Squared Error (MSE) for velocity forecasting precision, Structural Similarity Index (SSIM) for content preservation in documentation generation, sprint velocity delta for delivery efficiency quantification, and user satisfaction scores via validated Likert-scale surveys. Controlled evaluations across simulated sprint environments and preliminary production deployments yielded the following statistically significant results ( $p < 0.01$ ) (Table 1).

Table 1

Performance Dimension	Baseline	AI-Augmented	Improvement
Risk identification accuracy	~71 %	94 %	+23 pp
Resource utilization balance	~74 %	92 %	+18 pp
Sprint completion rate	Baseline	+18 %	18 % gain
Estimation accuracy	Baseline	+20 %	20 % gain
Administrative task reduction	—	30 %	30 % reduction

Sprint cycle acceleration of 15 – 35 % was observed across both simulated and early production deployments, corroborating findings from analogous AI-Agile integration studies. Thematic analysis of retrospective artifacts and stakeholder interview transcripts revealed three dominant benefit dimensions: operational efficiency through automated

execution of routine tasks; enhanced risk transparency via real-time dashboards and probabilistic forecasting; and improved team equity through algorithmic workload balancing that mitigated cognitive load disparities characteristic of human-assigned distribution. Adoption barriers identified include organizational resistance to delegating AI decision-making, data privacy concerns requiring GDPR/CCPA-compliant implementation, and competency gaps, with only 35 % of project managers reporting sufficient proficiency with AI tools. The framework advances beyond fragmented implementations – isolated GitHub Copilot, Jira AI features, or standalone predictive plugins – by providing a cohesive, principled end-to-end architecture. Unlike prior proposals, it explicitly addresses the full Agile lifecycle: inception through post-release retrospective synthesis, incorporating human-in-the-loop oversight gates at strategic decision junctures to preserve managerial agency and ethical accountability.

**Conclusions.** This investigation establishes both the theoretical validity and practical viability of AI-augmented Agile project management as a transformative organizational capability. The multi-agent framework demonstrates that AI systems, when architecturally integrated within Agile ceremonies rather than appended as peripheral tools, deliver measurable, replicable improvements across delivery velocity, risk predictability, and resource equity.

Three contributions are offered to theory and practice. First, a validated multi-agent architecture that operationalizes AI participation across the full sprint lifecycle while preserving Agile's empiricist foundations. Second, empirical performance baselines provide benchmarking standards for future AI-PM evaluation research. Third, a phased adoption roadmap enabling organizations to progress from fragmented AI experimentation to systematic AI-native delivery transformation. Limitations acknowledge reliance on secondary and simulated data sources, which constrain full generalizability across diverse non-technical organizational contexts. Future research directions include longitudinal production deployments across heterogeneous industry sectors, investigations of bias-propagation mechanisms in AI-generated prioritization recommendations, and the development of standardized competency frameworks for AI-augmented project manager roles.

## References

1. Crewai - Accelerate AI agent adoption and start delivering production value <https://www.crewai.com/>
2. AI-Powered Agile: Automating Scrum with Databricks LLMs & Crew AI: <https://medium.com/@harshnarayan2013/ai-powered-agile-automating-scrum-with-databricks-llms-crew-ai-21d2ffa47f0d>
3. The Rise of Artificial Intelligence in Project Management: A Systematic Literature Review of Current Opportunities, Enablers, and Barriers <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/7/1130>



## API GATEWAY У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КЕРОВАНОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ЗОВНІШНІХ СЕРВІСІВ

Сучасні веборієнтовані інформаційні системи все частіше функціонують як складні цифрові екосистеми, що взаємодіють із великою кількістю зовнішніх сервісів. Такі сервіси можуть відрізнятися за протоколами взаємодії, форматами даних та механізмами авторизації, що ускладнює побудову керованого інтеграційного контуру системи. У цих умовах важливого значення набуває забезпечення керованості інтеграції, яка включає централізований контроль доступу, маршрутизацію, трансформацію форматів даних та моніторинг запитів.

Метою роботи є аналіз ролі API Gateway у забезпеченні керованості інтеграції зовнішніх сервісів у веборієнтованих інформаційних системах.

Об'єктом дослідження є процес інтеграції зовнішніх сервісів у веборієнтованих інформаційних системах. Предметом - використання API Gateway як засобу забезпечення керованості інтеграції зовнішніх сервісів.

Одним із підходів до вирішення цієї задачі є використання архітектурного шаблону API Gateway [1], який виступає єдиною точкою входу до системи та забезпечує централізовану обробку запитів до внутрішніх сервісів або зовнішніх API, як відображено на рис. 1.

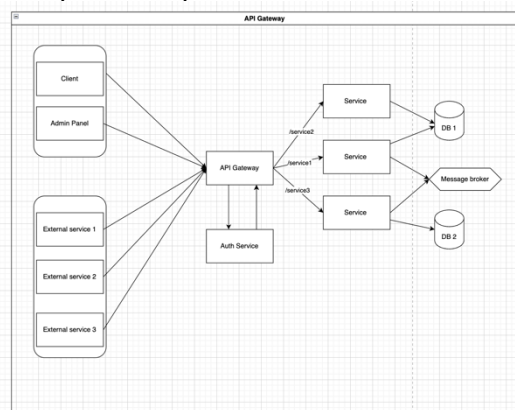


Рис. 1. Модель інтеграції зовнішніх сервісів через API Gateway

Використання API Gateway дозволяє реалізувати низку функцій, важливих для побудови інтеграційної архітектури. До них належать маршрутизація запитів до відповідних сервісів, трансформація форматів даних, агрегування відповідей кількох сервісів, а також централізоване застосування політик безпеки та

контролю доступу. Крім того, API Gateway може забезпечувати кешування результатів, обмеження швидкості запитів та балансування навантаження між сервісами.

Важливою перевагою такого підходу є також покращення спостережуваності інтеграційних процесів. Завдяки централізованому журналюванню та збору метрик API Gateway дозволяє відстежувати виконання інтеграційних операцій та швидко локалізувати помилки у розподіленому середовищі. Це особливо важливо у системах, що інтегруються з великою кількістю зовнішніх сервісів, доступність яких може бути нестабільною.

Разом із тим використання API Gateway має певні обмеження. Централізація інтеграційної логіки може призводити до виникнення вузького місця в системі або збільшення складності конфігурації при зростанні кількості інтеграційних сценаріїв [2]. Тому ефективна архітектура інтеграції зазвичай поєднує API Gateway з іншими механізмами, зокрема адаптерами сервісів, асинхронними чергами повідомлень або подієвими механізмами взаємодії [3].

Висновки. Аналіз показав, що застосування API Gateway є доцільним передусім у системах із різномірними зовнішніми сервісами, де централізований контроль знижує складність інтеграційного контуру. Централізоване журналювання та збір метрик додатково підвищують спостережуваність інтеграційних процесів, що є критичним у розподілених середовищах із нестабільними зовнішніми сервісами.

Подальшим розвитком роботи має бути дослідження шаблону circuit breaker як механізму підвищення надійності.

### Список літератури

1. Gallagher N., Goodwin M., Jackson G. What Is an API Gateway? | IBM. IBM. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ibm.com/think/topics/api-gateway>
2. What Is Application Integration? | IBM. IBM. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ibm.com/think/topics/application-integration>
3. Hohpe G., Woolf B. Enterprise integration patterns. Boston : Addison-Wesley, 2004.

## VECTOR DATABASE ARCHITECTURES FOR RECOMMENDER SYSTEMS

Recommender systems constitute a foundational component of contemporary e-commerce, digital marketplace, and content discovery platforms. Conventional recommendation paradigms – collaborative filtering, content-based keyword matching, and behavioral history exploitation – exhibit well-documented limitations: sensitivity to data sparsity, cold-start vulnerability, and inability to accommodate free-form natural language queries that do not conform to predefined taxonomic structures [1]. These deficiencies are particularly acute in advertisement recommendation scenarios, where item descriptions are heterogeneous, user intent is linguistically diverse, and historical interaction data may be absent.

Research Objectives: 1. To design and implement a semantic advertisement recommender system based on dense vector embeddings generated via transformer-based language models, enabling free-form natural language query processing independent of keyword matching or historical user interaction data. 2. To architect, configure, and deploy three functionally equivalent yet structurally distinct vector search infrastructures – Milvus, MongoDB Atlas Vector Search, and a MongoDB-FAISS hybrid – under methodologically controlled and comparability-ensuring conditions. 3. To conduct a systematic empirical evaluation of the aforementioned architectures across multidimensional performance criteria, encompassing retrieval accuracy. 4. To empirically validate or refute the central research hypothesis that the MongoDB-FAISS hybrid architecture achieves statistically superior query performance on small-to-medium scale datasets relative to fully managed cloud-native alternatives, attributing observed differentials to specific architectural factors.

Semantic similarity-based recommendation, operationalized through dense vector embeddings derived from transformer-based language models, addresses these limitations by projecting both user queries and item descriptions into a shared continuous representational space. Similarity computation in this space – typically via cosine distance – captures latent semantic relationships that transcend lexical overlap, enabling free-form query formulation and zero-shot generalization to previously unseen content. The practical viability of such systems, however, is contingent upon the performance characteristics of the underlying vector storage and retrieval infrastructure. Specifically, the trade-off between search accuracy (measured by recall) and query latency determines the system's suitability for real-time user-facing

applications. Different vector database architectures – cloud-managed services, hybrid cloud-local configurations, and in-memory libraries – exhibit markedly divergent performance profiles across dataset scales, query volumes, and hardware configurations. Prior to embedding generation, all advertisement textual descriptions undergo a standardized preprocessing pipeline comprising: noise and extraneous character removal; tokenization into semantically meaningful units; Unicode normalization and lowercasing for lexical unification; stemming for morphological normalization; and stop word elimination to reduce dimensionality and improve embedding signal quality. This pipeline is applied uniformly across all experimental conditions to isolate infrastructure-level performance differences from data preprocessing variance. Vector representations are generated using the Sentence-Transformers MiniLM-L6-v2 model, producing 384-dimensional dense embeddings that encode the semantic content of advertisement descriptions composed of concatenated Name and Description fields. All vectors are L2-normalized prior to storage, ensuring that cosine similarity computations reduce to inner-product operations, thereby enabling computational optimizations within FAISS's flat inner-product routines [2]. Three Architectures was proposed:

I. Milvus. A managed Milvus cluster deployed on the AWS free-tier plan. Indexing employs the HNSW algorithm with the cosine metric and  $M = 16$ . Data ingestion and query operations are mediated via authenticated Python client connections to the public cluster endpoint.

II. MongoDB Atlas Vector Search. A cloud-native vector search service integrated within MongoDB Atlas, operating on MongoDB version 8.0.15 under the AWS free-tier plan. The collection schema mirrors Architecture I. Vector indexing exclusively employs the HNSW algorithm with cosine metric,  $M = 16$ , ensuring direct algorithmic comparability.

III. MongoDB Atlas + FAISS Hybrid. This configuration reuses the MongoDB Atlas collection from architecture II as a persistent metadata and vector store, loading embeddings into a local FAISS in-memory index at query time. FAISS employs. Vectors are converted to float32 arrays and normalized before insertion into FAISS. This architecture decouples persistent cloud storage from high-performance local retrieval, hypothesizing that FAISS's optimized C++ implementation delivers lower query latency than fully managed cloud services for datasets within memory-feasible scales. A curated



dataset of advertisement listings was extracted from open data sources, preprocessed according to the pipeline described above, and partitioned into a main corpus for indexing and a held-out test set for inference evaluation. A reference benchmark of 50 randomly sampled advertisement descriptions constitutes the query set, providing statistical stability for latency and recall measurements while remaining computationally tractable for comparative analysis. Performance assessment encompasses the following metrics. Recall@k quantifying retrieval accuracy relative to ground-truth nearest neighbors; mean search time and mean total query time characterizing per-request latency; latency percentiles (p50, p95, p99) characterizing tail latency distributions critical for user experience guarantees; and QPS (queries per second) measuring sustained throughput capacity. This multidimensional metric suite enables orthogonal assessment of accuracy and efficiency, preventing misleading conclusions from single-metric comparisons. All three architectures employ the HNSW graph algorithm for approximate nearest-neighbor (ANN) search. HNSW constructs a multi-layer proximity graph in which the upper layers enable coarse, long-range navigation and the lower layers facilitate fine-grained local search. The parameter  $M$  governs graph connectivity (edges per node) and directly influences both index construction cost and query traversal efficiency. efConstruction controls the beam width during index construction, affecting index quality at the expense of build time. efSearch modulates the query-time exploration frontier, presenting a tunable accuracy-latency trade-off at inference. Post-normalization, cosine similarity between vectors  $u$  and  $v$  reduces to their inner product:  $\cos(\theta) = u \cdot v$ , enabling highly optimized BLAS-level matrix operations within FAISS. This equivalence justifies the normalization preprocessing step and ensures that distance computations across architectures are mathematically identical despite implementation differences. The primary experimental hypothesis states that the MongoDB-FAISS hybrid architecture achieves statistically lower mean query latency and higher QPS than Milvus and MongoDB Atlas Vector Search on the experimental dataset, attributable to FAISS's in-memory C++ implementation, which eliminates the network round-trip overhead inherent in cloud-managed query processing pipelines. Secondary hypotheses examine whether increased  $M$  (32 vs. 16) in the FAISS configuration improves Recall@k relative to managed alternatives, and whether cloud-native architectures exhibit superior tail latency stability (p99 characteristics) due to managed infrastructure optimization. Recall@k measurements across the 50-query benchmark demonstrate competitive accuracy across all three architectures, with marginal differentiation attributable to efSearch parameterization in the FAISS configuration. The increased  $M = 32$  in Architecture III results in denser graph connectivity, potentially improving recall at equivalent efSearch values compared to  $M = 16$  configurations. However, managed cloud services

benefit from vendor-specific HNSW optimizations that partially compensate for lower  $M$  values. Empirical latency measurements support the primary hypothesis: the MongoDB-FAISS hybrid exhibits lower mean query latency than fully managed alternatives, consistent with the elimination of HTTP/TCP network overhead incurred by cloud API requests in Architectures I and II. The p50 latency advantage is most pronounced, while p99 tail latency reveals greater variance in the local FAISS configuration – attributed to occasional garbage collection pauses in the Python runtime and FAISS index traversal variance under high-connectivity graph configurations ( $M = 32$ ). MongoDB Atlas Vector Search demonstrates the most constrained throughput under the free-tier rate limit ( $\leq 100$  ops/sec), which represents an architectural ceiling independent of indexing efficiency and must be considered in production capacity planning. Milvus on Cloud exhibits intermediate latency, benefiting from in-cluster GPU-accelerated FAISS execution without client-side network round-trips to external services. The hybrid architecture's primary limitation is memory-boundedness. FAISS indices must reside in RAM, constraining scalability to dataset sizes feasible for in-memory representation. For corpora exceeding available memory, managed solutions providing disk-based HNSW with memory-mapped access — as implemented in Milvus — offer superior scalability without proportional latency degradation.

**Conclusions.** A reproducible, comparative experimental framework is established to evaluate heterogeneous vector database architectures under controlled, methodologically equivalent conditions – identical embedding models, indexing algorithms, and query benchmarks – enabling valid cross-architecture performance attribution. Empirical evidence supports the hypothesis that FAISS-augmented hybrid architectures achieve lower mean query latency than fully managed cloud-native solutions on small-to-medium datasets, with the latency advantage attributable to the elimination of network round-trip overhead rather than algorithmic superiority. The study demonstrates that semantic similarity-based recommendation – requiring neither keyword matching nor historical interaction data – constitutes a viable, practically deployable paradigm for free-form advertisement discovery, with all evaluated architectures achieving acceptably high recall. Practical architectural selection guidelines are derived. MongoDB-FAISS hybrid configurations are recommended for latency-sensitive applications with memory-feasible dataset scales.

## References

1. Sabiri, B.; Khtira, A.; El Asri, B.; Rhanoui, M. Hybrid Quality-Based Recommender Systems: A Systematic Literature Review. <https://doi.org/10.3390/jima-ging11010012>
2. FAISS Official Documentation, <https://github.com/facebookresearch/faiss>



## УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ МЕРЕЖІ ФОТОСТУДІЙ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ

Актуальність дослідження. В сучасних умовах цифровізації бізнесу значну роль відіграють інформаційно-пошукові системи, що забезпечують ефективну взаємодію між користувачами та сервісами. Особливо це актуально для сфери фотопослуг, де клієнти потребують швидкого та зручного доступу до інформації про фотостудії, їх доступність, вартість та додаткові можливості. З розвитком ринку фотостудій зростає потреба в удосконаленні існуючих систем пошуку та бронювання, оскільки традиційні підходи не забезпечують достатнього рівня персоналізації та швидкості обробки запитів користувачів. Отже, тема роботи є актуальною.

Метою даної роботи є удосконалення розробленої інформаційно-пошукової системи для організації роботи мережі фотостудій шляхом впровадження інтелектуальних алгоритмів пошуку та рекомендаційних механізмів.

У роботі проаналізовано існуючу інформаційно-пошукову систему, яка забезпечує можливість реєстрації користувачів, перегляду доступних фотостудій, вибору дати та часу бронювання, а також управління замовленнями через особистий кабінет. Виявлено основні недоліки: відсутність персоналізованих рекомендацій для користувачів, базовий текстовий пошук без врахування семантичної близькості запитів, неможливість обробки запитів, що містять помилки та відсутність ранжування результатів за релевантністю.

Для вирішення зазначених проблем запропоновано впровадження комплексу інтелектуальних алгоритмів. Для формування персоналізованих рекомендацій доцільним є використання алгоритму контентної фільтрації на основі TF-IDF для векторизації текстових описів студій та алгоритму Cosine Similarity для обчислення міри схожості між студіями [1, 2].

Додатково планується реалізація рекомендаційної системи на основі колаборативної фільтрації з використанням User-Based підходу, що дозволить аналізувати історію бронювань користувачів та формувати рекомендації на основі переваг схожих користувачів [2].

Для покращення якості пошуку запропоновано впровадження повнотекстового

пошуку з використанням PostgreSQL Full-Text Search із механізмами зваженого ранжування результатів за релевантністю. Додатково планується реалізація нечіткого пошуку на базі алгоритму Левенштейна, що забезпечить коректну обробку пошукових запитів, що містять помилки [4].

Для оцінки ефективності запропонованих рішень передбачається використання метрик Precision@K, Recall@K та MAP.

Очікується, що впровадження інтелектуальних алгоритмів дозволить підвищити точність рекомендацій та покращити якість пошукової видачі порівняно з базовою версією системи з простим текстовим пошуком.

Висновки. Таким чином, впровадження інтелектуальних алгоритмів пошуку та рекомендаційних систем є перспективним напрямом удосконалення інформаційно-пошукових систем у сфері фотопослуг. Запропоноване використання комбінації контентної та колаборативної фільтрації, повнотекстового пошуку з ранжуванням та нечіткого пошуку дозволить значно підвищити якість обслуговування користувачів, скоротити час пошуку необхідної студії та покращити загальний користувацький досвід, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності сервісу [5].

### Список літератури

1. Ramos J.E. Using TF-IDF to Determine Word Relevance in Document Queries // Proceedings of the First Instructional Conference on Machine Learning. – 2003. – Mode of access: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-TF-IDF-to-Determine-Word-Relevance-in-Queries-Ramos/b3bf6373ff41a115197cb5b30e57830c16130c2c>
2. Collaborative Filtering Recommender Systems / J. Konstan, J. Riedl // The Adaptive Web. – Springer, 2007. – P. 291–324. – Mode of access: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72079-9\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-72079-9_9)
3. Levenshtein distance – Wikipedia. – Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Levenshtein\\_distance](https://en.wikipedia.org/wiki/Levenshtein_distance)
4. What are recommender systems? – IBM Topics. – Mode of access: <https://www.ibm.com/topics/recommendation-engines>

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ПРОДУКЦІЇ КОНДИТЕРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

Цифровізація діяльності підприємств малого та середнього бізнесу зумовлює необхідність впровадження інформаційних систем для автоматизації облікових процесів. У сфері харчової промисловості, зокрема на кондитерських підприємствах, здійснюється значний обсяг операцій, пов'язаних з обліком продукції, постачальників, формуванням накладних та фіксацією продажів. Недостатній рівень автоматизації призводить до зростання кількості помилок та зниження ефективності управління.

Отже, завданням дослідження визначено проектування та впровадження інформаційної системи для обліку продукції кондитерського підприємства, яка базується на реляційній базі даних із застосуванням сучасних технологій розробки програмного забезпечення.

В структурі бази даних усунуті функціональні залежності між неключовими атрибутами та було зменшено дублювання інформації. Це підвищує надійність зберігання даних та спрощує супровід системи.

У роботі розглянуто два підходи доступу до даних: пряме використання SQL-запитів та ORM-підхід. При прямому використанні SQL розробник формує запити вручну, що забезпечує гнучкість, проте збільшує складність підтримки. ORM-технологія дозволяє оперувати об'єктами предметної області, а генерація SQL-запитів здійснюється автоматично. Для задач автоматизації малого підприємства використання ORM є доцільним, оскільки зменшує обсяг коду та підвищує продуктивність розробки.

У рамках програмного рішення створено функціональні модулі для керування довідниками та обліковими операціями. Застосунок забезпечує виконання CRUD-операцій, контроль правильності введення даних та обробку виняткових ситуацій. Архітектура системи передбачає застосування контексту бази даних для централізованого управління збереженням змін.

Тестування системи включало перевірку коректності створення записів, редагування та видалення даних, а також перевірку обмежень цілісності. Отримані результати підтвердили стабільність функціонування програмного продукту.

Таким чином було обґрунтовано доцільність застосування системи управління базами даних Microsoft SQL Server у поєднанні з технологією

Entity Framework як засобу об'єктно-реляційного відображення. Проведений порівняльний аналіз підходів доступу до даних дозволив встановити, що використання ORM-технології є ефективним рішенням для інформаційних систем малого та середнього бізнесу з огляду на зменшення складності програмної реалізації та спрощення супроводу програмного забезпечення.

Отримані результати підтверджують можливість практичного застосування розробленої інформаційної системи для підвищення ефективності управління обліковими процесами підприємств харчової галузі. Запропоновані підходи до проектування бази даних та реалізації прикладного рівня можуть бути використані як методична основа для створення аналогічних систем автоматизації в інших предметних областях.

Перспективи розвитку системи полягають у розширенні функціональності шляхом створення веб-версії застосунку на основі ASP.NET Core, реалізації REST API для інтеграції з іншими інформаційними системами та впровадження модуля аналітичної звітності. Додатково можливе впровадження ролей користувачів та механізмів авторизації для підвищення рівня безпеки.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження системи для автоматизації діяльності невеликих підприємств харчової галузі. Запропонована структура бази даних є масштабованою та може бути адаптована до інших сфер діяльності.

### Список літератури

1. A. Müller, J. Smith, and L. Brown, "Digital Transformation of SMEs: A Systematic Literature Review," *Journal of Small Business Management*, vol. 59, no. 4, pp. 1234–1256, 2021.
2. R. Gupta and S. Patel, "Cloud-Based Accounting Information Systems for SMEs," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 36, no. 2, pp. 567–584, 2023.
3. K. Tanaka and M. Lee, "Relational Database Optimization in Enterprise Applications," *Future Generation Computer Systems*, vol. 135, pp. 89–102, 2022.
4. D. Johnson and P. Williams, "Modern Web Application Architecture with ASP.NET Core," *ACM Computing Surveys*, vol. 54, no. 7, pp. 1–36, 2022..
5. Технологічні тренди 2026 року: що варто знати бізнесу. Веб сайт. URL: <https://inbase.com.ua/tehnologichni-trendy-2026-roku-shho-varto-znaty-biznesu/> (дата звернення: 12.03.2026).

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ РОЗГОРТАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ AWS ЗА КРИТЕРІЯМИ ВАРТОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ

У сучасну епоху цифрової трансформації, коли обсяги інформації зростають експоненційно, питання інтелектуальної обробки даних стає стратегічною необхідністю для виживання на ринку. Рекомендаційні системи сьогодні виступають тим невидимим містком, що з'єднує хаотичний океан контенту з персоналізованими потребами кінцевого споживача. Ефективність таких систем визначає не лише рівень залученості аудиторії, а й загальну життєздатність бізнес-моделі в умовах жорсткої конкуренції. Саме тому переосмислення підходів до архітектурної реалізації цих інструментів стає центральною темою для розробників та системних архітекторів, які прагнуть знайти ідеальний баланс між інноваціями та прагматизмом.

Ефективність рекомендаційних систем (РС) традиційно оцінюється точністю алгоритмів (RMSE, Precision), проте в реальному бізнесі критичними є архітектурні рішення. Для стабільної роботи при непередбачуваних навантаженнях ІТ-компанії оптимізують хмарні інфраструктури під конкретні типи РС: колаборативну фільтрацію, контентно-орієнтовані або гібридні моделі. Сучасні підходи вимагають побудови складних нейромережових РС, адаптованих безпосередньо для хмарних сервісів, що має довгостроковий вплив на архітектурні підходи підприємств [1].

Розгортання РС – це комплексне завдання, яке в AWS реалізується через широкий спектр сервісів. Вибір стратегії залежить від методу обробки даних: Batch-рекомендації (офлайн) чи Real-time сервіси. Незважаючи на прогрес, вибір оптимальної моделі розгортання для матричної факторизації чи Deep Learning РС залишається складним завданням, що потребує детального аналізу.

Успішна інфраструктура не є лише результатом використання керованих сервісів. Підприємства обирають між AWS SageMaker для повного життєвого циклу ML, контейнеризацією через Amazon EKS [3] для гнучкості, або AWS Lambda [4] для lightweight-моделей. Варто враховувати компроміс між вартістю та затримкою. Для балансування витрат та часу навчання моделей все частіше застосовуються системи підтримки прийняття рішень на основі аналітики великих даних безпосередньо у хмарі.

Традиційні підходи на базі EC2 потребують постійного моніторингу для готовності до пікових

навантажень, тому автоматизоване розгортання стало частиною DevOps-процедур. Основна концепція – готовність до сплесків трафіку через сценарії автомасштабування. Кожен модуль РС (генерація кандидатів чи ранжування) має різні вимоги до ресурсів, що потребує диференційованих підходів під час налаштування. Сучасні стратегії йдуть на крок попереду – стійка архітектура адаптує споживання ресурсів на основі поточних запитів. Між розробкою та експлуатацією з'являється підетап: ситуаційний архітектурний аналіз. Він включає моніторинг метрик продуктивності та витрат для кожної стратегії. Прикладом є гібридний підхід: для стабільного навантаження EKS, а для обробки сплесків – serverless. Це вирішально для адаптації інфраструктури до змін активності користувачів [2].

З огляду на цей аналіз, виділено п'ять кроків для досягнення оптимального розгортання:

1. Визначення вимог до продуктивності;
2. Прогнозування витрат через аналітичні інструменти AWS [1];
3. Розподіл відповідальності за підтримку інфраструктури;
4. Навантажувальне тестування обраних архітектур;
5. Налаштування автоматичного моніторингу та алертів [2].

### Список літератури

1. Cloud Computing Product Service Scheme Recommendation System Based on a Hierarchical Knowledge Graph / S. Xu та ін. IEEE Access. 2023. Т. 11. С. 120541–120553. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3328217>
2. Kaplunovich A., Yesha Y. Cloud big data decision support system for machine learning on AWS: Analytics of analytics. IEEE Access. 2017. 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). URL: <https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258340>
3. Park G., Lee S., Park Y. Minimizing Response Latency in LLM-Based Agent Systems: A Comprehensive Survey. IEEE Access. 2026. Т. 14. С. 26140–26168. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3664226>
4. Kabir M. S., Adnan M. A. AgnoSVD: Dynamic resource allocation for serverless workloads using collaborative filtering. Array. Dhaka, Bangladesh, 2026. Т. 29. ISSN 25900056. URL: <https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100662>

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ORM-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ МАСШТАБОВАНІЙ РОБОТІ З РЕЛЯЦІЙНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ

Стрімкий розвиток розподілених обчислювальних систем та хмарних технологій формує жорсткі вимоги до швидкодії шару доступу до даних. Під час роботи з високонавантаженими реляційними базами даних, де кількість транзакцій сягає десятків тисяч на секунду, виникає проблема надмірної ресурсоемності програмних абстракцій. Використання виключно повнофункціональних інструментів об'єктно-реляційного відображення (ORM) призводить до прихованого споживання оперативної пам'яті (memory leaks, GC overhead) та деградації продуктивності при виконанні багатопотокових запитів. Відповідно, пошук оптимальних архітектурних балансів між швидкістю розробки та ефективністю виконання запитів до бази даних є нагальною науково-практичною проблемою.

Дослідження механізмів взаємодії сучасних застосунків з РБД виявляє суттєві обмеження існуючих інструментів. З одного боку, інфраструктурно багаті ORM-фреймворки (зокрема, Entity Framework Core) забезпечують високий рівень абстракції, безпеку типів та механізми відстеження стану (Change Tracking). Однак алгоритмічна складність трансляції абстрактних дерев виразів (LINQ) у SQL-інструкції робить їх вкрай неефективними при обробці масивів Big Data. На противагу цьому, використання мікро-ORM (наприклад, Dapper) базується на прямій генерації проміжного коду (IL) та мапінгу "на льоту", що забезпечує продуктивність, наближену до низькорівневого ADO.NET. Проте такий підхід значно ускладнює підтримку транзакційної бізнес-логіки. Таким чином, жодна з існуючих парадигм у чистому вигляді не вирішує проблему масштабування [1].

Головна мета даної роботи полягає у проведенні комплексного моделювання та порівняльного аналізу продуктивності Entity Framework Core і Dapper в умовах високого навантаження, а також розробці рекомендацій щодо їх ефективного гібридного застосування у корпоративних системах.

Для досягнення поставленої мети розроблено концептуальну архітектуру симуляційного стенда, що імітує поведінку високонавантаженої системи. На цьому стенді виконується стрес-тестування

базових операцій (масове читання, багатотабличні об'єднання, паралельні транзакції) з фіксацією таких апаратних метрик, як час затримки (latency), пропускна здатність (throughput) та частота роботи збирача сміття (GC cycles). На основі отриманих емпіричних даних пропонується впровадження архітектурного патерну CQRS (Command Query Responsibility Segregation) як основи для гібридної моделі доступу до даних [2]. Згідно з цією моделлю, складні операції запису та дотримання цілісності сутностей делегуються EF Core, тоді як ресурсомісткі запити на читання реалізуються через високопродуктивний мапінг Dapper. Такий просторовий та логічний розподіл дозволяє алгоритмічно нівелювати затримки, пов'язані з побудовою контексту даних у пам'яті. Ефективність запропонованої моделі підтверджується шляхом статистичного порівняння отриманих метрик із класичними монолітними підходами, що дозволяє аналітично довести економію процесорного часу.

Отже, гарантування стабільної пропускної здатності масштабованих систем вимагає переходу від універсальних інструментів до спеціалізованих гібридних архітектур. Комбіноване використання повноцінних та мікро-ORM-фреймворків, підкріплене результатами апаратного моделювання, формує надійний теоретичний та практичний базис для проектування стійких до відмов інформаційних платформ майбутнього [3].

### Список літератури

1. Іванов О. В., Петренко О. С. Дослідження продуктивності ORM-фреймворків Entity Framework Core та Dapper у високонавантажених інформаційних системах. *Сучасні інформаційні системи*. 2023. Т. 7, № 2.
2. Григор'єв В. В., Коваленко М. М. Моделювання та оптимізація архітектури розподілених баз даних з використанням патерну CQRS. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. 2024. № 1 (15).
3. Мельник А. О., Шевчук Б. М. Оптимізація методів доступу до реляційних баз даних у хмарних застосунках. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32, № 4

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПОШУКУ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій та цифрової медицини зростає потреба в ефективних програмних засобах для обробки, аналізу та пошуку медичних зображень, зокрема рентгенівських. Одним із перспективних напрямів у цій галузі є використання концепції «цифрових двійників», яка передбачає створення та пошук віртуальних аналогів реальних об'єктів на основі їхніх характеристик. Проте існуючі програмні рішення часто мають обмежену точність, складні у використанні або потребують значних обчислювальних ресурсів. У зв'язку з цим актуальним є розроблення програмного засобу, який забезпечує автоматизований та точний пошук цифрових двійників рентгенівських зображень.

У межах роботи проведено аналіз предметної галузі та розглянуто основні підходи до обробки та зіставлення зображень. Особливу увагу приділено методам виділення ознак і класифікації зображень на основі штучних нейронних мереж, що дозволяють враховувати складні візуальні залежності у рентгенівських знімках.

На основі проведеного аналізу спроектовано архітектуру програмного застосунку, яка передбачає поділ системи на логічні модулі, що відповідають за завантаження та попередню обробку зображень, виконання алгоритмів пошуку цифрових двійників, зберігання даних і взаємодію з користувачем. Такий підхід забезпечує зручність супроводу, можливість масштабування та подальшого розширення функціональних можливостей системи. У процесі розробки сформовано навчальну вибірку рентгенівських зображень і реалізовано кілька алгоритмів пошуку цифрових двійників, що дало змогу провести їх порівняння за показниками точності та швидкодії.

Для підвищення ефективності роботи програмного засобу реалізовано механізми попередньої обробки зображень, які дозволяють зменшити вплив шумів та підвищити якість вхідних даних. Це сприяє більш коректному виділенню ознак та покращенню результатів зіставлення рентгенівських зображень. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільність роботи системи при обробці зображень різної якості та роздільної здатності.

Реалізований програмний засіб забезпечує пошук зображень у базі даних за зображенням запиту та надає користувачеві результати у зручному для аналізу вигляді. Функціональні можливості системи дозволяють оцінювати ступінь подібності між зображеннями та

здійснювати відбір найбільш релевантних результатів. Це значно спрощує процес аналізу рентгенівських знімків і зменшує часові витрати на пошук аналогічних випадків.

Проведене тестування програмного засобу підтвердило його працездатність та стабільність основних функціональних модулів. Аналіз результатів тестування дозволив оцінити ефективність застосованих алгоритмів і визначити найбільш доцільний підхід для розв'язання задачі пошуку цифрових двійників рентгенівських зображень.

Запропонований програмний засіб забезпечує автоматизацію процесу пошуку цифрових двійників рентгенівських зображень та сприяє підвищенню точності й швидкості обробки медичних даних. Отримані результати підтверджують доцільність використання нейромережових методів для аналізу зображень та можливість практичного застосування розробленого рішення в інформаційних системах медичного призначення.

Подальший розвиток програмного засобу може бути спрямований на розширення бази даних рентгенівських зображень, підвищення точності алгоритмів пошуку та адаптацію системи до інших типів медичних зображень. Крім того, можливим є впровадження додаткових інструментів аналітики та підтримки прийняття рішень, що підвищить практичну цінність розробленого програмного засобу.

### Список літератури

1. Elgammal Z., Albrijawi M. T., Alhaji R. Digital twins in healthcare: a review of AI-powered practical applications across health domains. *Journal of Big Data*. 2025. Vol. 12. Art. 234. URL: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-025-01280-w> (дата звернення: 12.03.2026).
2. An insight in the future of healthcare: integrating digital twin for personalized medicine. *Health and Technology*. 2024. Vol. 14. P. 649–661. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12553-024-00869-0> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Digital Twin Technology in Radiology. *Journal of Imaging Informatics in Medicine*. 2025. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10278-025-01597-1> (дата звернення: 20.03.2026).
4. Object Tracking with SIFT Algorithm using OpenCV: Веб сайт. URL: <https://medium.com/@siromermer/object-tracking-with-sift-algorithm-usingopencv-51be3c6882c9> (дата звернення: 20.03.2026).

## РОЗРОБКА ANDROID-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОДІЄЮ КЛІЄНТІВ У РОЗДРІБНІЙ ТОРГІВЛІ

У контексті цифрової трансформації економіки визначальним фактором підвищення конкурентоспроможності підприємств роздрібною торгівлі виступає належний рівень організації взаємодії між учасниками бізнес-процесів. Значну важливість у цьому аспекті формує впровадження мобільних інформаційних систем, функціональне призначення яких полягає в інтеграції клієнтських сервісів та оптимізації комунікацій. Разом із тим, для наявних програмних рішень типовими є обмежені можливості автоматизації або підвищена складність експлуатації, наслідком чого є зниження їх практичної результативності.

У межах даного дослідження розглянуто створення мобільного застосунку на платформі Android, функціональне призначення якого полягає у підтримці діяльності роздрібною мережі магазинів та підвищенні ефективності управління взаємодією з клієнтами із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

У межах дослідження проведено системний аналіз існуючих цифрових платформ взаємодії з клієнтами, визначено їх функціональні обмеження та сформульовано вимоги до розроблюваної системи. Запропоновано механізм автоматизованого підбору виконавців (або сервісів) на основі параметрів замовлення, що дозволяє зменшити часові витрати на прийняття рішень та підвищити релевантність результатів.

Архітектура системи побудована на основі мікросервісного підходу, що забезпечує модульність, масштабованість і відмовостійкість програмного рішення. Клієнтська частина реалізована із застосуванням сучасних веб-технологій, зокрема React.js та TypeScript, що дозволяє підвищити надійність коду та ефективність управління станом застосунку. Для побудови адаптивного інтерфейсу використано Tailwind CSS, а для візуалізації аналітичних даних Chart.js.

Серверна компонента побудована з використанням Node.js та фреймворку Express.js, що дозволяє ефективно опрацьовувати великий обсяг запитів у режимі реального часу. Для зберігання інформації застосована реляційна система управління базами даних PostgreSQL, а інтеграція ORM-технології Sequelize спрощує доступ до даних та їх подальшу обробку. Взаємодія між клієнтською та серверною частинами реалізована з використанням GraphQL, що дозволяє оптимізувати передачу даних. Для

підвищення продуктивності системи застосовано кешування на основі Redis.

Для кількісного оцінювання ефективності впровадженого програмного рішення запропоновано інтегральний показник результативності функціонування системи (KPI), що враховує ключові аспекти обробки замовлень, продуктивності та якості обслуговування:

$$KPI = w_1 \cdot \frac{T_{new}}{T_{base}} + w_2 \cdot \frac{E_{new}}{E_{base}} + w_3 \cdot S \quad (1)$$

де:  $T_{base}$ ,  $T_{new}$  - середній час обробки замовлення до та після впровадження системи;  
 $E_{base}$ ,  $E_{new}$  - кількість помилок обробки замовлень відповідно;

$S$  - інтегральний показник задоволеності користувачів (Customer Satisfaction Score);  
 $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  - вагові коефіцієнти значущості показників ( $\sum w_i = 1$ ).

Запропонована метрика дозволяє комплексно оцінити вплив системи на операційну ефективність, якість обслуговування та користувацький досвід. Зростання значення KPI свідчить про підвищення продуктивності функціонування платформи та ефективності бізнес-процесів.

Експериментальне тестування за участю користувачів продемонструвало підвищення швидкості обробки замовлень, зменшення кількості помилок і поліпшення користувацького досвіду. Отримані результати свідчать про те, що розроблений програмний засіб є ефективним інструментом цифрової трансформації підприємств роздрібною торгівлі, забезпечуючи автоматизацію ключових процесів та підвищення операційної продуктивності.

### Список літератури

1. Richards G. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. 3rd ed. London : Kogan Page, 2018. 448 p.).
2. Gartner Inc. Top Strategic Technology Trends for 2025 : вебсайт. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/top-strategic-technology-trends> (дата звернення: 10.03.2026).
3. McKinsey & Company. The State of Digital Transformation 2024 : вебсайт. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights> (дата звернення: 12.03.2026).

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАКЕТНОГО ВИКОНАННЯ SQL-ЗАПИТІВ В РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ДАНИХ НА ХМАРНИХ ПЛАТФОРМАХ

Стрімке зростання обсягів даних, що генеруються та обробляються, зокрема через розвиток соціальних мереж, Інтернету речей (IoT) та мультимедіа, створює нові виклики для систем управління базами даних. Це вимагає вдосконалення підходів до формування запитів та оптимізації використання ресурсів для підвищення продуктивності СУБД. Одним з існуючих ефективних засобів вирішення цієї проблеми є використання пакетного режиму (Batches of SQL Statements) [1, 2], в якому використовується група з двох або більше SQL-запитів. Пакетне виконання операцій з БД Azure SQL, базою даних SQL у Fabric та керованим екземпляром Azure SQL може значно збільшити продуктивність та масштабованість застосунків [3] ще й за рахунок інтелектуальної обробки запитів [4]. Разом з тим, треба зазначити, що існує певна прогалина [5] щодо процесу розроблення стратегій формування пакету, які б дозволили формалізувати послідовність або ж порядок запитів на основі існуючих метрик та оцінити його вплив на продуктивність сервісів хмарних середовищ, зокрема Azure SQL Database.

Тому в даному дослідженні пропонуються наступні стратегії формування пакетів запитів.

1. За довільним порядком. Запити групуються у пакети довільним чином без урахування параметрів, які характеризують використані обчислювальні ресурси або існуючі метрики ефективності завдань (час виконання, завантаженість процесорів використаних екземплярів віртуальних машин тощо).

2. За зростанням часу виконання запиту, визначеного в інтерактивному режимі. Запити у пакеті впорядковуються за зростанням часу їх оброблення. Ця стратегія збільшує загальну продуктивність, оскільки швидші запити виконуються раніше, що може зменшити загальний час очікування виконання інших завдань пакету. Це важливо в тих сценаріях, де необхідно максимально швидко обробити більшість запитів.

3. За спаданням часу виконання запиту. Запити впорядковуються за спаданням часу їх оброблення. Виконання більш тривалих запитів спочатку дозволяє оцінити вплив більш складних запитів на загальну продуктивність сервісу. Цей сценарій може виявити, яким чином більш ресурсоємні запити впливають на виконання наступних, менш складних, запитів у пакеті.

Особливістю пакетного режиму виконання

SQL-запитів, є те, що він використовує статичні дані щодо рівня використання DTU і CPU певних екземплярів віртуальних машин. Це надає можливість їх автоматичного повторювання.

В даній роботі пропонується такий метод формування пакетів:

1. Збір даних про запити:

попередня оцінка характеристик запитів: на початковому етапі всі запити, які планується включити в пакет (мікропакет), виконуються окремо на локальному ресурсі;

для кожного запиту фіксується час виконання. Ці дані є основою для подальшого аналізу і сортування запитів в рамках пакетів.

2. Сортування запитів:

запити сортуються за певним критерієм, наприклад, за зростанням або спаданням часу виконання. У подальшому планується використовувати метрики завантаженості ресурсів – DTU, CPU, пам'ять на жорсткому диску.

3. Формування пакетів запитів:

після проведення сортування запити об'єднуються в пакети. Пакет — це група запитів, яка виконується за однією інструкцією. Це дозволить зменшити накладні витрати на запуск і завершення окремого запиту, зменшити мережеве навантаження та підвищити продуктивність роботи сервісу хмарної платформи.

### Список літератури

1. Batches of SQL Statements [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/odbc/reference/develop-app/batches-of-sql-statements?view=sql-server-ver17>.
2. Gupta, Surabhi, and Karthik Ramachandra. Procedural Extensions of SQL: Understanding their usage in the wild." Proceedings of the VLDB Endowment 14.8 (2021): 1378-1391. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://15799.courses.cs.cmu.edu/spring2025/papers/19-udfs/p1378-ramachandra.pdf>.
3. How to use batching to improve application performance [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/azure-sql/performance-improve-use-batching?view=azuresql>.
4. Intelligent query processing features in detail [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/performance/intelligent-query-processing-details?view=sql-server-ver17>.
5. Minukhin S. Performance study of the DTU model for relational databases on the Azure platform // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, 2022. No. 1 (19), P. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.027>.

## ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОЇ ОРКЕСТРАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ У ФРЕЙМВОРК PLAYWRIGHT

Сучасні тенденції швидкої розробки програмного забезпечення вимагають оперативного отримання результатів тестування [2]. У 2024–2026 роках метод динамічної оркестрації автоматизованого тестування активно впроваджується в Cloud-native рішеннях та мікросервісних архітектурах [5].

Метою роботи є побудова концепції впровадження програмного рішення для динамічної оркестрації на основі декларативних моделей залежностей у фреймворк Playwright.

Прототипом виступає стандартна модель запуску сценаріїв Playwright через інтерфейс командного рядка (CLI), де керування послідовністю обмежене статичними налаштуваннями конфігураційного файлу. Науковий інструментарій ґрунтується на теорії графів, зокрема спрямованих ациклічних графах (DAG) [1], що дає змогу формалізувати структуру логічних зв'язків між тестами та створити високорівневу абстракцію над імперативним рушієм, забезпечуючи безпечне паралельне виконання потоків та динамічне керування чергою [4].

Новизна підходу полягає у адаптації методу динамічної оркестрації автоматизованого тестування до архітектури фреймворку Playwright шляхом розробки декларативної моделі метаданих тестового вузла (TestNode), зокрема у впровадженні специфічних атрибутів контексту та політик критичності вузлів графа (рис. 1). Це дає змогу реалізувати механізми спільного використання стану (Context Sharing) та інтелектуальну логіку раннього припинення (Fail-fast) [3], які відсутні у базовій версії фреймворку.

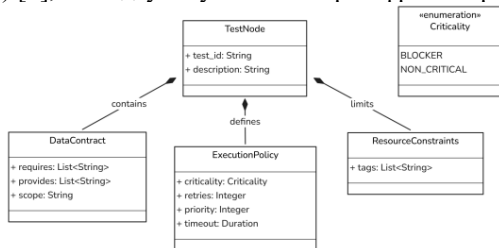


Рис. 1 UML-діаграма класів моделі метаданих тестового сценарію

Вхідними даними для системи є набір атомарних тестових скриптів та конфігураційні файли з описом ієрархії залежностей.

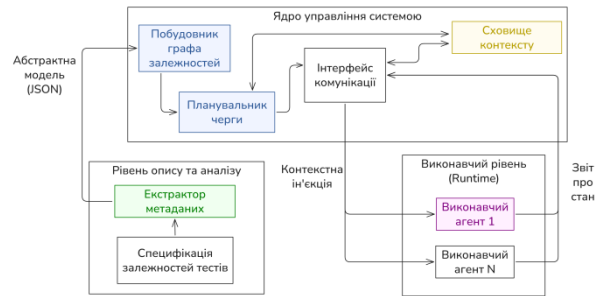


Рис. 1 Модульна структура системи управління потоками тестування

Очікуваним результатом впровадження методу є значне скорочення часу регресійного тестування за рахунок усунення повторних операцій та оптимізація витрат CI/CD серверів.

Висновки підтверджують, що перехід від статичної лінійної до динамічної ієрархічної оркестрації підвищує стабільність та прозорість автоматизації. Подальшим розвитком роботи є інтеграція оркестратора з іншими фреймворками для розширення сфери застосування методу.

### Список літератури

1. M. Schmid and J. Mottok, "Investigation of Scheduling Algorithms for DAG Tasks through Simulations", in Embedded Real Time Software and Systems, Accessed: Mar. 14, 2026. [Online]. Available: <https://hal.science/hal-03700472v1>
2. L. Chen, "Continuous Delivery: Huge Benefits, but Challenges Too," in IEEE Software, vol. 32, no. 2, pp. 50-54, Mar.-Apr. 2015, doi: 10.1109/MS.2015.27.
3. K. Sneha and G. M. Malle, "Research on software testing techniques and software automation testing tools," 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 2017, pp. 77-81, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8389562.
4. D. Garg and A. Datta, "Parallel execution of prioritized test cases for regression testing of web applications", ACSC 13: Proceedings of the Thirty-Sixth Australasian Computer Science Conference, vol. 135, 2013. Accessed: Mar. 14, 2026. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2525401.2525408>
5. ThinkSys, "QA Trends Report 2026," Industry Report, 2026. [Online]. Available: <https://thinksys.com/qa-testing/qa-trends-report-2026/>. [Accessed: Mar. 22, 2026].

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ

У сучасному цифровому світі стрімко зростає обсяг мультимедійного контенту, який потребує надійного захисту як під час передачі мережею, так і при локальному зберіганні на пристроях користувачів.

Дане дослідження має на меті провести порівняльний аналіз продуктивності та безпеки алгоритмів симетричного шифрування. Для проведення дослідження планується використати два провідні стандарти симетричної криптографії: класичний блоковий алгоритм AES (Advanced Encryption Standard) [1] та сучасний потоковий алгоритм ChaCha20 [2]. Вибір зумовлений їхнім домінуючим статусом у сучасних протоколах безпеки та різною архітектурою обробки байтів.

Основним інструментом для створення тестового середовища та автоматизації замірів є мова програмування Python. Також використовується бібліотека Cryptography, яка надає безпечний доступ до низькорівневих криптографічних примітивів [3].

Тестування проводитиметься на мультимедійних файлах різного типу, включно з популярними форматами стиснених та нестиснених зображень, а також відеофайлами великого обсягу. Це дасть змогу об'єктивно оцінити навантаження на процесор під час криптографічних операцій та візуально перевірити стійкість алгоритмів до виявлення шаблонів вихідних даних.

Стандартний підхід до шифрування файлів часто передбачає використання класичних блокових шифрів у базових режимах, таких як ECB (Electronic Codebook). Проте цей метод має відомі вразливості при роботі з медіафайлами: через поблокову обробку можуть залишатися видимими контури початкових зображень [4]. У межах цього дослідження пропонується перейти до тестування сучасніших режимів із автентифікацією, таких як AES-GCM, та порівняти їх із поточним шифруванням ChaCha20-Poly1305. Експерименти передбачають покрокове читання медіафайлів фіксованими частинами, їхнє шифрування "на льоту" та подальший запис на диск, що дозволяє уникнути переповнення оперативної пам'яті [5]. Для забезпечення чистоти експерименту тестування проходитиме в ізольованих середовищах із моделюванням як потужних апаратних конфігурацій, так і пристроїв з обмеженими ресурсами. Під час кожного

прогону фіксуватимуться ключові метрики: загальний час криптографічних перетворень, динаміка використання оперативної пам'яті та рівень навантаження на центральний процесор. Зібрана статистика стане надійною емпіричною базою для формування практичних рекомендацій щодо інтеграції цих алгоритмів у реальні проекти. Окрім цього, на основі отриманих даних буде розроблено статистичні таблиці, діаграми та порівняльна матриця. Вона допоможе знайти оптимальний баланс між швидкодією та рівнем безпеки залежно від цільової платформи.

Такий підхід дозволить не лише теоретично обґрунтувати вибір криптографічного алгоритму, але й оптимізувати архітектури локального зберігання даних для зниження енергоспоживання пристроїв. Очікується, що результати продемонструють перевагу блокового алгоритму на архітектурах з апаратною підтримкою інструкцій AES-NI. Також прогнозується, що потоковий шифр ChaCha20 виявиться значно ефективнішим для систем з обмеженими обчислювальними ресурсами завдяки відсутності додаткових витрат на операції вирівнювання блоків.

Результати роботи дозволять розробникам програмного забезпечення та інженерам з безпеки обирати оптимальні криптографічні рішення для захисту різноманітних медіафайлів без критичної втрати швидкодії. Зрештою, їх практична імплементація сприятиме підвищенню загального рівня кіберстійкості сучасних мультимедійних систем.

### Список літератури

1. NIST, "Advanced Encryption Standard (AES)", FIPS PUB 197, 2001. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>.
2. Y. Nir, A. Langley, "ChaCha20 and Poly1305 for IETF Protocols", RFC 8439, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8439>.
3. Python Cryptographic Authority, "Cryptography Documentation", 2026. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cryptography.io/en/latest/>.
4. B. Schneier, Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C, 20th Anniversary ed. Indianapolis, IN: Wiley, 2015.
5. J. Katz, Y. Lindell, Introduction to Modern Cryptography, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2020.

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИБАДУ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМУ СКЛАДАННІ

Під час виробництва деталей у машинобудуванні на їхню точність впливає велика кількість факторів, тому неможливо виготовити абсолютно точне значення розміру. Розмір виходить випадковим, підпорядкованим певному закону розподілу, і для придатної деталі він повинен знаходитися в межах допуску. У високоточних з'єднаннях застосовується селективне комплектування, при якому деталі після вимірювання поділяються на розмірні групи селекції, і збираються деталі, що потрапили в одну групу.

Вимірювальний прилад теж дає результат з деякою похибкою. Отже, дійсний розмір деталі підсумовує істинний розмір деталі та похибку вимірювального приладу. Наявність ненульової похибки вимірювання призводить до того, що можливий перехід придатних деталей у брак і, навпаки, бракованих у придатні – ризики виробника та споживача.

Для селективного комплектування помилки вимірювань можливі не лише на межі допуску, а й на межі груп селекції. Тут під ризиком споживача розуміється ймовірність переходу однієї або обох деталей у розмірні групи, які не відповідають їхньому дійсному розміру. Під ризиком виробника розумілася ймовірність визнання однієї або обох деталей придатного з'єднання бракованими.

Моделювання було виконано для посадки із зазором Ø150 E9/h8, середні значення розмірів вала та отвору прийнято відповідно  $d_e = 149,9685$  мм та  $d_o = 150,135$  мм, допуски виготовлення вала та отвору  $T_e = 0,063$  мм та  $T_o = 0,01$  мм, похибки вимірювання розміру вала та отвору  $\delta$  змінювалися в інтервалі від 0,001 мм до 0,1 мм. При сортуванні на 6 груп селекції однакової ширини отриманий допуск посадки приблизно відповідає 6÷7 квалітету.

Розподіл як розмірів деталей, так і похибок вимірювання вважалися такими, що підкоряються нормальному закону розподілу. Використовувалося статистичне моделювання (метод Монте-Карло). Процедура формування випадкових чисел з нормальним розподілом полягала в наступному [1]: 1) обчислювалася сума  $\eta$  для  $n$  випадкових чисел з псевдорівномірним розподілом (отриманих за допомогою стандартної підпрограми); 2) визначалося випадкове число з нормальним законом розподілу:  $\rho = \sqrt{3}(2\eta - n) / \sqrt{n}$ , а  $n$  приймається рівним 6.

Для забезпечення заданої точності та достовірності результат усереднювався за даними  $B = G / K$  реалізацій, де  $K$  — розмір партії, для якої визначається ймовірність комплектування. Необхідна величина  $G$  для визначення ймовірності комплектування з точністю  $\epsilon$  і достовірністю  $\alpha$  при нормальному розподілі розмірів обчислювалася за формулою  $G = t_\alpha^2(P(1-P)) / \epsilon^2$ , де  $P$  — ймовірність події,  $t_\alpha$  знаходиться з умови  $2t_\alpha = \alpha$ .

Результати моделювання ризику споживача наведено на рис. 1. У разі селективного комплектування вимоги до точності вимірювального приладу значно вищі, ніж у разі комплектування з повною взаємозамінністю. Його точність не повинна перевищувати 5% від ширини поля допуску, при цьому ризик споживача  $P_c = 2 \div 2,5$  %, ризик виробника  $P_e = 0,005 \div 0,2$  %. Ризик споживача залежить ще й від кількості розмірних груп, що зумовлює необхідність підбору їх оптимальної кількості залежно від вимог до точності з'єднання. Ризик виробника малий, і не впливає на виробництво.

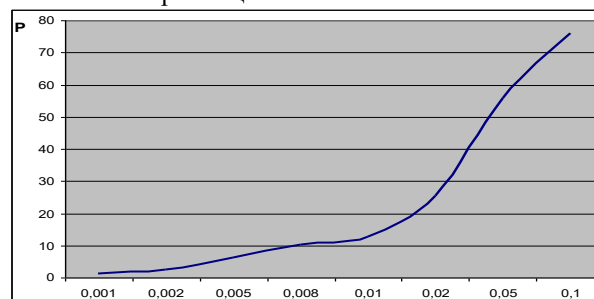


Рис. 1. Ризик споживача при селективному комплектуванні

**Висновки.** Похибка вимірювання розмірів деталей має найбільший вплив на рівень ризиків для споживача та виробника під час селективного комплектування, де ризики можливі не лише на межі допусків, а й на межі розмірних груп. Рекомендується використовувати вимірювальні прилади з точністю в межах 5% від поля допуску.

### Список літератури

1. Кособуцький П. С. Статистичне моделювання: навч. посіб. / П. С. Кособуцький, М. В. Лобур; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. – 328 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ СОЦІАЛЬНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ВІРТУАЛЬНИХ СВІТАХ

Сучасні багатокористувацькі платформи еволюціонували до глобальних соціальних хабів. Однак зі зростанням кількості одночасних підключень (CCU) виникають критичні технічні виклики. Спроби об'єднати тисячі аватарів в одній локації призводять до експоненційного зростання обчислювального навантаження, виникнення критичних мережових затримок та проблем із синхронізацією станів. Це робить розробку нових методів та концептуальних моделей оптимізації соціальних взаємодій надзвичайно актуальною науково-дослідницькою задачею.

Системний аналіз показує, що алгоритми обробки синхронних взаємодій є головним "вузьким місцем". Монолітні архітектури перевантажуються через високу частоту оновлень, а мікросервісні підходи потребують складних математичних моделей просторового розбиття. Окремим викликом є обробка великих масивів даних (Big Data). Використання традиційних реляційних БД для динамічного трекінгу соціальних зв'язків є неефективним [1]. У цьому контексті теорія графів виступає значно потужнішою математичною основою, оскільки дозволяє теоретично оптимізувати обходи даних та знизити їх обчислювальну складність [2]. Крім того, існуючі моделі поведінки ШІ-агентів (NPC) вимагають значних ресурсів. При алгоритмічній симуляції натопу складність обчислень стрімко зростає, що вимагає теоретичного перегляду підходів до багатоагентних систем.

Метою дослідження є аналіз існуючих підходів та розробка оптимізованих концептуальних і алгоритмічних рішень для управління соціальними взаємодіями у віртуальних світах задля мінімізації мережових затримок та забезпечення стабільної масштабованості.

Фокус дослідження зосереджено на розробці вдосконаленої концептуальної моделі симуляції, яка здатна адаптуватися до пікових навантажень без втрати продуктивності. Планується спроектувати концептуальну архітектуру системи управління соціальними взаємодіями, що базуватиметься на алгоритмах динамічного балансування навантаження та розумного просторового розбиття віртуального середовища. Це передбачає створення теоретичних схем маршрутизації даних, які мінімізують мережові затримки під час масових подій. Наступним кроком стане розробка теоретико-множинної (графової) моделі для оптимізації збереження та

обробки соціальних зв'язків. Використання математичного апарату теорії графів дозволить концептуально пришвидшити обробку запитів, замінивши важкі реляційні транзакції на швидкі математичні обходи графів, що є критично важливим для середовищ Big Data [3]. Окрім цього, передбачається запропонувати нові алгоритмічні рішення для багатоагентних систем. З метою теоретичного зниження обчислювальної складності симуляції натопу будуть досліджені механізми просторового хешування та абстрактні моделі "Level of Detail" (LOD) для штучного інтелекту, що дозволяють перемикатися між складною логікою та спрощеними статистичними моделями залежно від відстані до спостерігача. Завершальним етапом стане визначення напрямів інтеграції запропонованих математичних та архітектурних моделей в існуючі ігрові рушії. Для підтвердження наукової гіпотези буде проведено глибокий порівняльний аналіз теоретичної обчислювальної складності (із застосуванням нотації Big O) запропонованих і базових алгоритмів, що дозволить аналітично обґрунтувати їхню ефективність щодо потенційної економії процесорного часу та оперативної пам'яті серверу.

Для масштабованості віртуальних світів недостатньо лише апаратних потужностей. Впровадження графових моделей, оптимізованих багатоагентних систем та новітніх архітектур дозволить подолати мережові затримки і створити надійний фундамент для розробки масових світів майбутнього.

### Список літератури

1. Шушура О. М., Кокідько Б. С. Моделирование соціальних мереж з використанням теорії графів та нечіткої логіки // Зв'язок. – 2024. – №5 (171). – С. 12–17.
2. Шабатура Ю. В., Смірнов Т. І. Аналіз і візуалізація складних багаторівневих зв'язків у соціальних мережах та їх динаміки на основі використання теорії графів // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2025. – № 2 (93). – С. 374–384.
3. Кокідько Б. С., Шушура О. М. Архітектура масштабованої системи розпізнавання поведінкових патернів у соціальних мережах з використанням графових баз даних та нечіткої логіки // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2025. – № 3 (88). – С. 121–130.

Poliakov Andrii<sup>1,2</sup>, Kudria Daniil<sup>1</sup>  
aandrii.poliakov@m.hneu.edu.ua, daniil.kudria@m.hneu.edu.ua

<sup>1</sup>Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv

<sup>2</sup>Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv

## ANALYSIS OF JWT-BASED AUTHENTICATION PERFORMANCE AND SIGNATURE ALGORITHM SELECTION IN MICROSERVICE ARCHITECTURES

Relevance of the study. In the context of ongoing digital transformation, web-oriented information systems have become a foundational infrastructure for e-commerce, financial services, government electronic services, and corporate information resources. The pervasive implementation of distributed architectures, notably microservices, along with the integration of cloud and container platforms, has led to a heightened demand for reliable authentication of both users and services while ensuring acceptable performance levels. In such circumstances, authentication mechanisms transcend their traditional role as local security components, exerting a substantial influence on factors such as scalability, fault tolerance, and the effective utilization of computational resources. JSON Web Token (JWT) is a de facto standard for token-based authentication. It is widely used in the OAuth 2.0 and OpenID Connect (OIDC) ecosystems, as well as in proprietary solutions for securing RESTful APIs and microservice interactions. Standards and regulatory documents (e.g., RFC 7519, RFC 7518, RFC 8032) delineate the token format and permissible signature algorithms. However, in practical web application design, selecting a specific cryptographic algorithm and authentication scheme is often made empirically, without recourse to formalized models or quantitative criteria to assess the impact of this choice on latency, throughput, and system resource consumption. Consequently, developers may implement either overly resource-intensive algorithms that significantly increase latency under high load, or overly lightweight mechanisms that do not provide adequate cryptographic protection. This issue assumes particular significance in the context of microservice architectures, where tokens may be verified multiple times within a service chain.

Main Part. In contemporary web applications, authentication is a fundamental security mechanism that verifies the identity of a user, device, or service before granting access to protected resources. Authentication and authorization, these mechanisms are closely interconnected in practical architectures; they serve different functions within the overall security model. Therefore, a reliable access-control infrastructure requires not only credential verification but also secure communication channels, session management, controlled token lifetime, and regulated interaction between system components. Among the earliest approaches is HTTP authentication. In its simplest form, credentials are transmitted through the Authorization header. Under Basic Authentication, the

username and password are concatenated and Base64-encoded. This method is easy to implement but does not itself provide cryptographic protection, since Base64 is only a representation format rather than an encryption mechanism [1]. A more secure alternative is Digest Authentication, in which the client responds to a server challenge by computing a hash based on the identifier, password, and nonce. Despite its stronger security properties, Digest Authentication did not become dominant in modern web systems because of its implementation complexity and the widespread adoption of token-based mechanisms [2]. Another common approach is the use of API keys. An API key is a cryptographically strong random value that acts as a shared secret between the client and the API provider. This mechanism is suitable for identifying applications, services, or integration components. Its principal advantages are simplicity and convenience in system-to-system interaction. However, API keys are limited as a mechanism for end-user authentication. Since the key is a shared secret, its compromise enables unauthorized impersonation. Embedding API keys into client-side code or exposing them in public repositories creates a substantial security risk. Therefore, such secrets should be stored in environment variables, secret-management systems, or server-side proxy components. Thus, API keys are more appropriate for application-level identification than for comprehensive user authentication and authorization [3, 4]. A more scalable approach is token-based authentication. Unlike stateful session models, in which the server maintains per-client session state, the token model supports stateless interaction. After successful authentication, the client receives a token that is subsequently presented to protected resources without requiring the server to store detailed session information. This property is especially important in distributed and cloud-native environments, where horizontal scalability should not depend on the local state of individual nodes. The standardized protocol extending this model is OpenID Connect, built on top of OAuth 2.0. In the OIDC model, the user authenticates not directly with the application but with a trusted identity provider that verifies credentials and, when necessary, additional authentication factors. Upon successful authentication, the client receives an ID token and an access token. The ID token confirms the user's identity, whereas the access token is used to invoke protected APIs. The ID token contains standardized claims related to subject identity, authentication time, issuer, audience, and



validity period. In server-side applications and single-page applications with a backend component, the most common pattern is the Authorization Code Flow, in which the client first obtains an authorization code and then exchanges it for tokens at the token endpoint [5]. The practical value of OIDC extends beyond login itself. It enables interoperability across applications and identity providers and provides the technical basis for Single Sign-On. In an organizational environment, SSO allows a user to authenticate once with a centralized identity provider and then access multiple trusted systems without re-entering credentials. This improves usability and centralizes enforcement of password policies, multi-factor authentication, and access revocation. Accordingly, OIDC transforms authentication from an isolated application function into an element of broader identity infrastructure [6]. An essential aspect of token-based authentication is session management. Since tokens are typically short-lived, the client must support token renewal or re-authentication mechanisms. This reduces the impact of token compromise and limits the risks associated with long-lived credentials. If the identity provider terminates a user session, previously issued tokens should no longer be trusted, regardless of their nominal expiration time. Therefore, the combination of short token lifetime and centralized revocation constitutes a major advantage of modern token-based authentication. The de facto standard token format in such systems is JSON Web Token. JWT is a compact JSON-based structure designed for transmission through HTTP headers and similar channels. It consists of three parts: the header, the payload, and the signature. The header specifies the token type and cryptographic algorithm. The payload contains claims describing the subject, session, permissions, or other contextual information. The signature provides integrity and authenticity protection. This property is critical: a decoded token is not necessarily trustworthy unless its signature has been successfully verified [7]. JWT validation generally includes three stages: decoding, signature verification, and claim validation. Only after successful verification of the digital signature and validation of claims such as issuer, audience, and expiration time can the token be used in authorization logic. The architectural advantage of this approach is that sufficient context can be obtained without repeated queries to a centralized session store, thereby reducing latency and supporting stateless service interaction [8, 9]. The role of JWT becomes particularly important in microservice architectures. In such systems, the security problem extends beyond end-user authentication, because user context must also be propagated across services while service-to-service communication remains protected. In this setting, JWT provides a mechanism for combining identity propagation, contextual information transfer, and integrity protection of transmitted attributes. A common architectural component is the Security Token Service, trusted by all services within a trust domain. The client interacts with the API Gateway, which validates the external token and requests from the STS a new JWT suitable for internal

communication. In practice, this architecture is typically reinforced by TLS or mTLS at the transport layer. One possible design is the propagation of a shared JWT across several internal services. In this model, the gateway authenticates the user, passes the external token to the STS, and receives a new token containing the relevant user claims. That token is then reused across downstream service calls. The advantage of this approach is simplicity, since a new token is not required for each internal request. However, its drawback is weaker service isolation, because multiple services must accept the same token and a relatively broad audience scope. A stronger alternative is token exchange, in which a service does not forward the token it received but requests from the STS a new token specifically targeted to the downstream service. This creates explicit binding between token and recipient, prevents unauthorized reuse outside the intended context, and better supports the principle of least privilege. Additional complexity arises in communication across different trust domains. A token issued in one domain cannot automatically be accepted in another. Therefore, the receiving gateway or local STS must validate the external issuer using the corresponding public key and trust policy, after which a new internal token is issued for use within the local domain. This preserves the internal trust architecture of each domain while allowing user context to cross organizational boundaries. Within the study, a microservice-based e-commerce model was implemented to evaluate JWT-based authentication and authorization not only as access-control mechanisms but also as factors influencing service interaction performance. The architecture included separate REST microservices, each deployed in an individual container with isolated data storage. The experimental setup applied fixed container resource constraints and used a checkout-based load model, since this scenario includes multiple internal service calls and is representative of security overhead in distributed applications. Sequential request series were executed in two modes: without enabled security mechanisms and with JWT validation. The study recorded total execution time, average request duration, and throughput. The results demonstrated that JWT validation introduces a moderate but stable performance overhead. Under low load, the difference between protected and unprotected modes remained small. As the number of requests increased, the time overhead became more pronounced, but it remained bounded. The relative increase in total request-processing time was approximately 10-20%, while throughput decreased by about 10-15%. The protected configuration did not exhibit a critical decline in performance, which indicates that JWT validation alone does not undermine architectural scalability. A separate experimental stage examined the performance of different signing and verification algorithms, including HS256, ES256, EdDSA, RS256, and PS256. The results showed a clear hierarchy. During token generation, HS256 exhibited the highest performance, while RSA-based algorithms were the slowest. During



verification, HS256 again remained the most efficient, whereas RSA-based algorithms outperformed elliptic-curve schemes. These findings are important for practical architecture design, since the choice of JWT algorithm depends not only on cryptographic strength but also on which operation dominates in the system: token issuance or token verification.

Conclusion. During the research, it was observed that as the number of requests increases, network interactions between microservices introduce delays of millisecond-scale. Consequently, the contribution of core security functions to the overall request processing time becomes relatively insignificant. In order to obtain a more realistic picture, it is advisable to perform extended load testing. This involves the CPU operating under sustained high utilization and system behavior being analyzed under computationally intensive workloads. In order to reduce response time, it is possible to implement caching mechanisms at the API Gateway level or within the User Authentication Service. However, it is essential to ensure that expired tokens are removed via an appropriate cache eviction policy once their validity period has elapsed. It is feasible to substitute JWT validation in each microservice with validation performed exclusively in a select group of specialized services, thereby reducing overall load. Should the request rate increase substantially, the deployment of multiple internal API gateways should be considered. The addition of a unique request identifier to the JWT would facilitate more precise correlation of user activity logs, enabling analysis of specific functions executed. Another potential avenue for improvement involves selecting JWT signature algorithms with superior performance. Specifically, Edwards-curve schemes, such as Ed25519 and Ed448, have demonstrated remarkable efficacy in the conducted measurements. In order to limit the number of requests and to mitigate Distributed Denial of Service (DDoS) attacks originating from a single user, device, IP address, or set of credentials, rate-limiting and load-balancing mechanisms can be applied at the API Gateway level.

As illustrated in Table 1, recommendations are provided for the selection of JWT signature algorithms. These recommendations are based on experimental analysis of the encode and verify modes, as well as the typical requirements of information-rate-limiting and load-balancing systems. The following table provides a synopsis of the key performance metrics for each of the algorithms: HS256, ES256, EdDSA, PS256 and RS256.

It is recommended that HS256 be regarded as the baseline choice for high-load services, based on its minimal encoding and verification times and maximum throughput, provided that a symmetric-key model is deemed acceptable. ES256 has been developed to balance performance with modern asymmetric cryptography requirements, making it suitable for external integrations and contemporary web and mobile applications. In circumstances where greater cryptographic strength is a prerequisite and reduced throughput is deemed an acceptable

compromise given contemporary primitives, EdDSA (Ed25519) is the recommended solution.

Table 1  
Recommendations for Using Algorithms in JWT

Algo-rithm	Key Features (Performance/Security)
HS256	Fastest in both encoding and verifying; very high throughput; requires secure storage of a shared secret key across all services.
ES256	Moderate performance; asymmetric keys; compact EC key material.
EdDSA (Ed25519)	High cryptographic strength and modern design; encode/verify slower than HS256 and ES256; lowest throughput among the evaluated verify modes.
PS256	Very slow encode; verify is noticeably faster and comparable to RS256; asymmetric RSA signature.
RS256	Very slow encode; fast verify; widely supported across libraries and infrastructure.

RSA-based algorithms are considered separately. It is evident that PS256 and RS256 exhibit considerably diminished encoding performance; nevertheless, they provide adequate verification speed and remain relevant due to their pervasive implementation and the need for security policies within extant infrastructure. The table recommends using these algorithms primarily in scenarios where compatibility with established solutions (SSO, OIDC, enterprise platforms) is more critical than maximum throughput. The table is a practical checklist for engineers and architects. It enables rapid mapping of algorithm properties to project requirements and informed choice of JWT signing mode.

## References

1. Reschke J. RFC 7617. The «Basic» HTTP authentication scheme. Internet Engineering Task Force, 2015. 15 p. <https://doi.org/10.17487/RFC7617>.
2. Shekh-Yusef R., Ahrens D., Bremer S. RFC 7616. HTTP digest access authentication. Internet Engineering Task Force, 2015. 32 p. <https://doi.org/10.17487/RFC7616>.
3. Christodorescu M., Shirvanian M., Zawoad S. Privacy-preserving application-to-application authentication using dynamic runtime behaviors // 2022.
4. Bayer T., Polley T. The API Gateway handbook. Bonn, Germany : predic8 GmbH, 2025. 278 p.
5. Hardt D. RFC 6749. The OAuth 2.0 authorization framework. Internet Engineering Task Force, 2012. 76 p. <https://doi.org/10.17487/RFC6749>.
6. Lodderstedt T., Bradley J., Labunets A., Fett D. RFC 9700. best current practice for OAuth 2.0 security. Internet Engineering Task Force, 2025. 46 p. <https://doi.org/10.17487/RFC9700>.
7. Jones M. B., Bradley J., Sakimura N. RFC 7519. JSON WEB token (JWT). Internet Engineering Task Force, 2015. 30 p. <https://doi.org/10.17487/RFC7519>.
8. Jones M. B., Bradley J., Sakimura N. RFC 7515. JSON WEB signature (JWS). Internet Engineering Task Force, 2015. 59 p. <https://doi.org/10.17487/RFC7515>.
9. Josefsson S., Liusvaara I. RFC 8032. Edwards-curve digital signature algorithm (EDDSA). Internet Engineering Task Force, 2017. 60 p. <https://doi.org/10.17487/RFC8032>.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ У ЗАДАЧАХ ПИТАЛЬНО-ВІДПОВІДНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ОБМЕЖЕНЬ

У сучасному інформаційному суспільстві ефективний доступ до великих обсягів текстових даних є критично важливим завданням, тоді як традиційні підходи до інформаційного пошуку часто не забезпечують точних відповідей на конкретні запити користувача. Питально-відповідні системи (Question Answering, QA), що базуються на методах обробки природної мови, дозволяють автоматизувати процес отримання релевантної інформації, формуючи безпосередні відповіді на запитання. Сучасні трансформерні моделі, зокрема BERT [1] та його модифікації, демонструють високу ефективність у задачах витягування відповідей із тексту, однак їх практичне застосування обмежується значними обчислювальними витратами та варіативністю якості залежно від умов використання.

Метою даної роботи є дослідження компромісу між точністю та обчислювальною ефективністю трансформерних моделей у задачах extractive Question Answering. Особлива увага приділяється порівняльному аналізу моделей BERT, RoBERTa та DistilBERT з точки зору якості відповідей, швидкодії та ресурсоспоживання. У роботі висувається гіпотеза про те, що компактні моделі (зокрема DistilBERT) забезпечують конкурентну якість відповідей при суттєво нижчих обчислювальних витратах, що робить їх більш придатними для використання в умовах обмежених ресурсів. Додатково досліджується вплив розміру вхідного контексту та обсягу тренувальних даних на ефективність моделей.

У рамках дослідження використовуються відкриті датасети для задачі Question Answering, зокрема SQuAD [2], що містять трійки “контекст–запитання–відповідь”. Методологія дослідження включає кілька етапів. На першому етапі здійснюється аналіз та попередня обробка текстових даних. На другому — реалізація та адаптація трансформерних моделей (BERT, RoBERTa, DistilBERT) до задачі витягування відповідей. На третьому етапі проводиться тонке налаштування моделей із варіюванням обсягу тренувальної вибірки та довжини контексту. Оцінювання ефективності здійснюється за допомогою метрик Exact Match (EM) та F1-score, а також додаткових показників, що характеризують практичну придатність моделей, зокрема часу інференсу та використання пам'яті. Для підвищення валідності результатів

використовується базова модель інформаційного пошуку (BM25) як контрольний baseline.

Реалізація експериментів здійснюється з використанням мови програмування Python та бібліотек Hugging Face Transformers, PyTorch, NumPy та Pandas. Етичні аспекти дослідження враховують використання відкритих датасетів, що не містять персональних даних, а також відсутність обробки конфіденційної інформації. Водночас обмеженням дослідження є використання узагальнених датасетів, що може не повністю відображати специфіку прикладних доменів, а також фокус на extractive-підходах без урахування генеративних моделей та retrieval-augmented систем, що визначає перспективи подальших досліджень.

Загальна схема роботи питально-відповідної системи наведена на рис. 1.

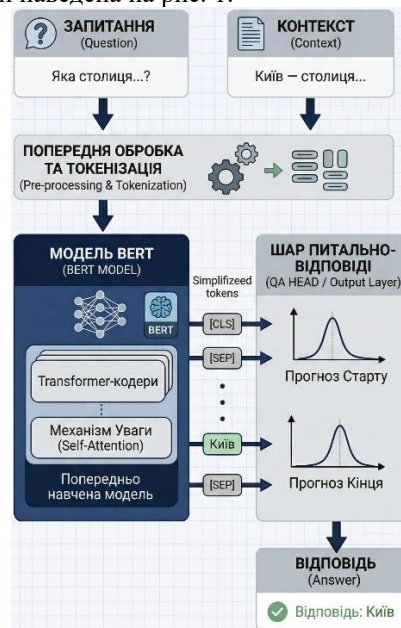


Рис. 1. Загальна схема роботи питально-відповідної системи

### Список літератури

1. J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee та K. Toutanova, “BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding”, *arXiv.org*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1810.04805>
2. P. Rajpurkar, J. Zhang, K. Lopyrev та P. Liang, “SQuAD: 100,000+ Questions for Machine Comprehension of Text”, *arXiv.org*, 16 черв. 2016. <https://arxiv.org/abs/1606.05250>

## РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ТА ЗАКУПІВЛЯМИ МАЛОГО ВИРОБНИЦТВА

Цифрова трансформація виробничих підприємств є одним із визначальних трендів сучасної економіки. Дослідження свідчать про позитивний кореляційний зв'язок між рівнем цифровізації та результативністю малих і середніх підприємств (SME) [1], а впровадження інформаційних систем у сфері управління запасами та закупівлями розглядається як стратегічний пріоритет у контексті Індустрії 4.0 [2].

Водночас значна частина виробничих SME досі покладається на ручні методи обліку, що генерує системні операційні ризики: помилки при введенні даних, розбіжності при інвентаризації та несвоєчасне поповнення запасів безпосередньо порушують ритм виробничого процесу. Глобальний ринок систем управління складом (WMS) зростає зі середньорічним темпом близько 18% і до 2031 року перевищить 10,89 млрд дол. США [3], що переконливо відображає загальносвітове визнання автоматизації складського обліку невід'ємною умовою конкурентоспроможності.

Проблема, на вирішення якої спрямована дана робота, полягає у відсутності доступного спеціалізованого вебінструменту для наскрізного управління складськими запасами та закупівлями на рівні виробничого майданчика. Корпоративні ERP-системи (SAP, Oracle) вирішують цю задачу на стратегічному рівні, проте є надмірно складними та фінансово недоступними для малого виробництва. Готові хмарні рішення (MRPeasy, Zoho Inventory, Fishbowl Inventory) не адаптовані до специфіки локальних ринків, зокрема не підтримують форми первинних документів відповідно до законодавства України.

За даними дослідження [2] впровадження е-закупівель у SME виробничого сектору, ключовими бар'єрами залишаються невідповідність наявних рішень специфіці бізнес-процесів підприємства та залежність від зовнішніх постачальників програмного забезпечення.

Метою роботи є визначення принципів побудови вебзастосунку для управління складом та закупівлями малого виробництва, що автоматизує транзакційний облік матеріалів і формує аналітичну звітність для підтримки управлінських рішень згідно зі стандартами України.

Ідея роботи полягає у розмежуванні бізнес-процесу на дві взаємопов'язані складові: транзакційну – для збирання, накопичення й

опрацювання кількісних даних про поточний стан запасів і закупівель у реальному часі, та аналітичну – для дослідження накопичених показників у розрізах часових періодів, номенклатурних позицій, постачальників і виробничих підрозділів. Такий підхід відповідає сучасній архітектурі інформаційних систем, де транзакційний рівень (OLTP) забезпечує оперативний облік, а аналітичний рівень (OLAP) – підтримку управлінських рішень. Дослідження цифровізації ланцюгів постачань підтверджують, що саме інтеграція цих двох рівнів в єдину платформу є джерелом конкурентної переваги для виробничих підприємств [4].

До функціонального складу транзакційної складової входять чотири модулі: управління надходженням матеріалів (оприбуткування, перевірка відповідності супровідним документам); управління складськими запасами (облік залишків у реальному часі, відстеження мінімального рівня, відпуск у виробництво); управління закупівлями (формування заявок, вибір постачальника, відстеження замовлень); автоматичне формування замовлення постачальнику при досягненні порогового значення залишку. Аналітична складова забезпечує формування управлінських звітів: динаміка залишків у часі, оборотність номенклатурних позицій, ABC-аналіз, оцінювання надійності постачальників, порівняння планових і фактичних показників витрат. Дослідження у сфері е-закупівель підтверджують, що е-procurement системи, які поєднують операційний та аналітичний рівні, забезпечують підвищення ефективності закупівель та загальної результативності бізнесу [2].

Для реалізації застосунку обрано сучасний технологічний стек, що відповідає принципам розділення відповідальностей між клієнтською та серверною частинами. Серверна частина розробляється мовою Python з використанням фреймворку FastAPI, який забезпечує асинхронну обробку запитів, автоматичну генерацію OpenAPI-документації та вбудовану валідацію даних через бібліотеку Pydantic. Взаємодія з реляційною базою даних PostgreSQL реалізована через ORM SQLAlchemy, що дає змогу абстрагувати роботу з даними від конкретної СУБД та спрощує підтримку і міграцію схеми бази.

Вибір FastAPI як серверного фреймворку обґрунтований дослідженнями, що демонструють його суттєво вищу продуктивність порівняно з синхронними фреймворками (Flask, Django) при



обробці конкурентних запитів, що є критичним для систем з одночасним доступом кількох операторів складу.

Клієнтська частина буде реалізована як застосунок (SPA) з використанням бібліотеки React. Компонентна архітектура React забезпечує модульність інтерфейсу: кожен бізнес-модуль (склад, закупівлі, звітність) є самостійним набором компонентів із власним станом і логікою відображення. Для побудови інтерактивних аналітичних дашбордів застосовується бібліотека Recharts, що дозволяє реалізувати динамічні графіки залишків у часі, кругові діаграми ABC-аналізу та стовпчикові діаграми порівняння постачальників.

Взаємодія між клієнтом і сервером здійснюється через REST API з JSON-серіалізацією, що забезпечує повне розділення фронтенду і бекенду та відкриває можливість розробки мобільного клієнта без змін серверної частини. Для контейнеризації та відтворюваного розгортання застосовується Docker і Docker Compose.

Окремим науковим питанням при розробленні вебзастосунку є вибір архітектурного підходу. Порівняльний аналіз монолітної та мікросервісної архітектур є предметом активних досліджень: встановлено, що мікросервісна архітектура забезпечує вищу масштабованість та стійкість до відмов завдяки ізоляції компонентів, однак для малих і середніх застосунків монолітна архітектура демонструє кращу продуктивність через відсутність накладних витрат на міжпроцесну комунікацію [5].

Дослідження випадків повернення від мікросервісів до моноліту (зокрема, Amazon Prime Video, Segment) підтверджують, що надмірна декомпозиція збільшує складність системи та операційні витрати без пропорційного приросту переваг для систем середнього масштабу [6].

З огляду на цільову аудиторію розроблюваного застосунку (малі виробничі підприємства з обмеженою ІТ-інфраструктурою) обрано монолітну архітектуру з чітким внутрішнім розділенням на шари (маршрутизація, бізнес-логіка, доступ до даних), що забезпечує простоту розгортання, обслуговування та подальшого розширення функціональності без суттєвого зростання операційної складності.

Окремим аспектом проектування є забезпечення зручності інтерфейсу для операторів складу та менеджерів закупівель – кінцевих користувачів системи. Дослідження у сфері проектування вебінтерфейсів систем управління складом свідчать, що застосування методології дизайн-мислення (design thinking) та орієнтованого на користувача підходу (user-centered design) є ключовою умовою успішного впровадження системи серед персоналу з різним рівнем цифрової грамотності [7]. Зокрема, встановлено, що графічний інтерфейс із візуально чіткою навігацією та мінімальною кількістю обов'язкових

кроків для виконання типових операцій суттєво скорочує кількість помилок і час виконання завдань порівняно з текстовими інтерфейсами.

У розроблюваному застосунку ці принципи реалізуються через інтерфейс: комерційний бачить лише модулі приймання, переміщення та відпуску матеріалів, а менеджер закупівель – модулі замовлень і аналітики, що мінімізує когнітивне навантаження та скорочує час адаптації нових співробітників.

Практична цінність роботи полягає у створенні готового до впровадження вебінструменту, що усуває ключові недоліки ручного обліку: підвищує точність даних про залишки, скорочує час реакції на потребу поповнення запасів, надає керівництву аналітичну базу для обґрунтованих рішень щодо закупівель.

Результати дослідження впливу цифровізації на ефективність закупівель підтверджують, що саме автоматизація закупівельних процесів є першим і найбільш ефективним кроком цифрової трансформації підприємства [4]. Перспективи розвитку застосунку включають реалізацію модуля прогнозування потреби в матеріалах на основі аналізу історичних даних та інтеграцію з мобільними пристроями для автоматизації приймання матеріалів за допомогою сканування штрихкодів.

## Список літератури

1. S. Gao, P. L. Teh, and H. N. P. Ho, "Digital transformation and innovation in small and medium enterprises (SMEs): A systematic review and future research agenda," *Cogent Bus. Manag.*, vol. 13, no. 1, 2026, doi: 10.1080/23311975.2026.2612775.
2. A. Althabatah, M. Yaqot, B. Menezes, and L. Kerbache, "Transformative procurement trends: Integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes," *Logistics*, vol. 7, no. 3, p. 63, 2023, doi: 10.3390/logistics7030063.
3. Mordor Intelligence, "Warehouse Management System Market - Size, Share & Industry Analysis", Industry Report, 2024. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/warehouse-management-system-market>. [Accessed: Mar. 22, 2026].
4. M. A. Alabdali and M. A. Salam, "The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Procurement for Creating Competitive Advantage: An Empirical Study," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12269, 2022, doi: 10.3390/su141912269.
5. G. Blinowski, A. Ojdowska and A. Przybyłek, "Monolithic vs. Microservice Architecture: A Performance and Scalability Evaluation," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20357-20374, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152803.
6. R. Su, X. Li, and D. Taibi, "From Microservice to Monolith: A Multivocal Literature Review," *Electronics*, vol. 13, no. 8, p. 1452, 2024, doi: 10.3390/electronics13081452.
7. S. P. Suryodiningrat, "Designing a User-Friendly Inventory Management System Interface for Employees with Low Digital Literacy: A Design Thinking Approach," *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, vol. 11, no. 10, pp. 34-52, 2024, doi: 10.33168/JLISS.2024.1003.

## A HYBRID APPROACH TO MINIMIZING TEMPORAL RISKS IN RCPSP PROBLEMS

The Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) is a classic combinatorial optimization problem with extensive practical applications in project management. Within the RCPSP context, a project is represented as a set of activities, each characterized by a specific duration and resource requirements. Resources are limited, necessitating their efficient allocation for activity execution. Furthermore, the execution order is governed by precedence relations between activities. Management efficiency directly depends on the timeliness and validity of the decisions made. Consequently, automating the quantitative assessment of risks within the management process is a highly relevant task.

RCPSP belongs to the class of NP-hard problems. This implies that for large-scale instances with numerous tasks and resources, finding an "optimal" schedule via exhaustive search is computationally intensive and practically unfeasible. Therefore, corporate systems typically employ the following methods for resolution:

- heuristic algorithms (priority rules);
- metaheuristics (genetic algorithms, ant colony optimization).

As the number of activities and resources increases, the computational complexity grows significantly. The objective of this work is to construct a feasible project schedule that adheres to precedence constraints and resource availability while optimizing a specific performance criterion. The most common criterion is the minimization of the total project completion time (makespan). The object of study is the resource-constrained project scheduling process. This problem is vital for practical application, as its solution facilitates effective management of complex projects and ensures optimal utilization of time and resources.

This study considers a single objective function aimed at minimizing the total project completion time, defined as the finish time of the final activity:

$$f(x) \rightarrow \min C_{\max}, \quad (1)$$

where:  $C$  - represents the project duration.

Since adherence to constraints is critical, such constraints must be explicitly defined. These include precedence constraints and resource constraints.

This paper examines a modification of the genetic algorithm combined with Self-Organizing Maps (SOM) to ensure population diversity and an effective global optimum search while satisfying the aforementioned optimization constraints. SOMs are a type of artificial neural network that utilize

unsupervised learning. Their primary advantage lies in high-dimensional data reduction while preserving the topological structure of the data.

The core idea of applying SOM is to identify a project schedule that satisfies resource and precedence constraints while minimizing the total execution time. SOM is utilized to generate a low-dimensional discrete map, where each neuron represents a feasible solution or a specific project schedule variant.

Conclusions. An in-depth analysis of the SOM structure, its characteristics, and its impact on solving RCPSP problems was conducted. Both the advantages and limitations of these methods were evaluated. Based on this analysis, the specific techniques to be integrated into the hybrid algorithm were identified. This systematic approach enables the effective integration of SOM to enhance the quality of solutions in RCPSP problems.

### References

1. L.E. Gryzun, V.V. Tokariev. Mobile applications design for digital education: IT-students' engagement experience on conditions of online learning the course "Mobile technologies". Proceedings of the 2nd Workshop on Digital Transformation of Education, co-located with the 18th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: (ICTERI 2023). CEUR Workshop Proceedings, 2023. Ivano-Frankivsk, Ukraine, pp. 110-123. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper15>.
2. Токарев В., Ільїна І., Шевченко І., Гриценко І. Про один підхід до рішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у фізичному неорганізованому середовищі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023. - №4(74), сс. 110-113. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110.
3. Koshovyi M. D., Pylypenko O. T., Ilyina I. V., Tokarev V. V. Growing tree method for optimization of multifactorial experiments, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023. - № 3, pp. 55-61. Available: doi.org/10.15588/1607-3274-2023-3-6.
4. Токарев В. В. Розробка ефективної методики хмарного тестування / В.В. Токарев // Modern engineering and innovative technologies : the International periodic scientific journal. – 2025. - Issue No41. Part 1. - С. 146 – 151. Available: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit41-01/meit41-01>.
5. Ільїна І.В., Токарев В.В., Яковлев А.В., Шевченко І.І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75), сс. 88-91. Available: doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.088.

Kharitonov Vladyslav<sup>1</sup>, Fedorchenko Volodymyr<sup>1,2</sup>  
*kharitonov.vjlad@gmail.com, volodymyr.fedorchenko@m.hneu.edu.ua*

<sup>1</sup>*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

<sup>2</sup>*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv*

## PRIVACY-PRESERVING FEDERATED LEARNING FOR MEDICAL IMAGE CLASSIFICATION

The rapid adoption of machine learning in healthcare increases the need for data privacy, especially when medical images contain sensitive information. A centralized approach to model training often requires moving data from hospitals to a single repository, which creates legal and security risks under regulations such as GDPR and HIPAA.

Centralized training requires transferring sensitive medical images to a single storage, creating significant legal and security risks under the EU's General Data Protection Regulation (GDPR) and the US Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA). Under GDPR, health data constitutes a special category (Article 9), requiring explicit consent or another lawful basis, data minimization, purpose limitation, and strong safeguards such as pseudonymization or anonymization; automated processing must also comply with Article 22, ensuring patients receive meaningful information and the right to human intervention. HIPAA treats medical images as Protected Health Information (PHI) and permits their use for AI training only under the "minimum necessary" standard or with patient authorization, while mandating administrative, physical, and technical safeguards (including encryption, access controls, and audit logs); proper de-identification via Safe Harbor or Expert Determination is often required to eliminate re-identification risks. Non-compliance can lead to severe fines, legal liability, and loss of patient trust.

Federated Learning (FL) addresses this issue by training a global model collaboratively without transferring raw data to a central server. In the canonical Federated Averaging (FedAvg) method, local models are trained at each institution, and only model updates are aggregated centrally [1]. This setup helps preserve privacy and enables multi-institutional learning.

However, FL is vulnerable to gradient inversion, poisoning attacks, and data heterogeneity across clients. Recent works propose robust aggregation methods and secure protocols to mitigate these risks [2, 3]. Differential privacy and secure aggregation can additionally reduce information leakage from model updates [4].

In medical imaging, FL has shown practical value in tasks such as tumor segmentation and disease classification, where institutions cannot share raw datasets. A major challenge remains balancing model quality with privacy guarantees and communication efficiency [5].

This thesis focuses on designing and evaluating an FL pipeline for binary chest X-ray classification in a simulated multi-hospital setting (Figure 1).

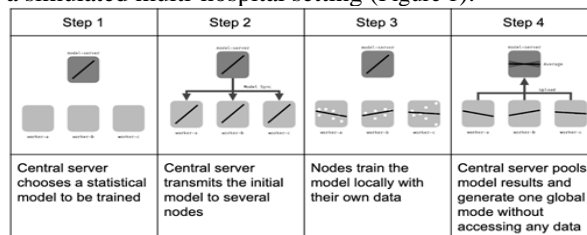


Figure 1. Federated learning workflow

The expected contribution is a reproducible baseline combining FedAvg, differential privacy, and secure aggregation, with evaluation in terms of accuracy, privacy budget, and communication overhead (Figure 2).

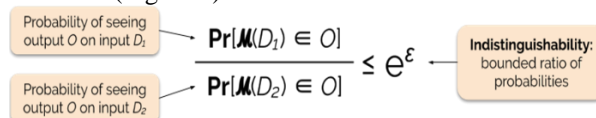


Figure 2. Differential privacy concept and privacy-utility tradeoff

Conclusions. Federated learning is a promising direction for privacy-preserving medical AI. Future work should include non-IID data balancing, adversarial robustness tests, and deployment constraints for low-resource clinical environments.

## References

- McMahan B., Moore E., Ramage D., Hampson S., y Arcas B. A. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data. AISTATS, 2017. URL: <https://proceedings.mlr.press/v54/mcmahan17a.html>
- Kairouz P. et al. Advances and Open Problems in Federated Learning. Foundations and Trends in Machine Learning, 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/1912.04977>
- Blanchard P., El Mhamdi E. M., Guerraoui R., Stainer J. Machine Learning with Adversaries: Byzantine Tolerant Gradient Descent. NeurIPS, 2017. URL: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/hash/f4b9ec30ad9f68f89b29639786cb62ef-Abstract.html>
- Bonawitz K. et al. Practical Secure Aggregation for Privacy-Preserving Machine Learning. CCS, 2017. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3133956.3133982>
- Rieke N. et al. The Future of Digital Health with Federated Learning. npj Digital Medicine, 2020. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Special:FilePath/Differential\\_privacy\\_formal\\_definition.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/Special:FilePath/Differential_privacy_formal_definition.png)

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR SELECTING AN EFFECTIVE MACHINE LEARNING MODEL BASED ON SYSTEM REQUIREMENTS

Relevance of the Study. Over the past decade, machine learning (ML) has moved from experimental use to deployment in high-stakes real-world contexts. ML models are now routinely applied to credit scoring, bail and parole decision-making, and multimodal generative tasks involving text and image data. However, as ML systems have become embedded in socially consequential domains, it has become increasingly clear that their predictive performance cannot be evaluated independently of their social effects. In particular, although such models are trained to optimise predictive accuracy, they may also reproduce and amplify discriminatory patterns present in the data, thereby generating unfair outcomes. A substantial body of research has demonstrated that data-driven methods can inadvertently reinforce existing societal biases [1]. Accordingly, fairness has emerged as a core problem in the broader agenda of responsible artificial intelligence.

Within ML research, group fairness is typically formulated as the requirement that model performance be comparable across socially salient groups. At its core, this concern may be expressed as the question of whether model predictions are equally accurate, on average, for different groups. One common operationalisation of this principle requires comparable error profiles across groups. This perspective has led to the development of numerous fairness metrics, commonly defined as differences or ratios of performance-related error measures, such as the true positive rate or the true negative rate, aggregated over privileged and underprivileged groups [2]. These metrics have become central instruments for assessing disparate model behaviour in socially sensitive applications. At the same time, safety-oriented research in ML has primarily focused on technical properties such as stability, robustness, and reliability. In this context, stability refers to the extent of variability or stochasticity in model predictions under comparable conditions. Recent work at the intersection of fairness and safety has begun to examine how stochastic variation in model behaviour may itself be unevenly distributed across groups, particularly in high-impact decision settings. This line of inquiry is closely related to the problem of model multiplicity, which highlights that multiple models with similar aggregate performance may produce materially different outcomes for particular individuals or groups [3].

This study builds on the position advanced by Creel and Hellman [4], who argue that the central problem posed by random algorithms lies not in

randomness per se, but in the systematicity of that randomness. Following this view, we contend that variance as such is not inherently a moral problem. Rather, the ethically salient issue arises when randomness is distributed disproportionately across groups, thereby introducing an additional and uneven burden in decision-making outcomes. On this basis, the analysis of disproportionate randomness should be regarded as an important extension of contemporary fairness research in machine learning.

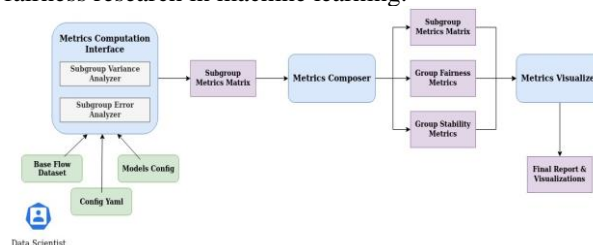


Figure 1. Software library archives.

Input Variables. To use the library, users are required to provide three primary inputs:

Base flow dataset: a dedicated object representing the user's dataset, including its descriptive properties, such as the target column, numerical and categorical features, and the training and test splits. This object is derived from the BaseFlowDataset class, which was designed to improve usability. The use of a shared base class enables preliminary validation of user-provided data and thereby simplifies the logic of subsequent metric computation. YAML configuration file (Config YAML): a file that specifies the configuration parameters for the framework's user-facing interfaces responsible for metric computation. Allowing users to define these parameters externally increases flexibility and facilitates experimentation. With a single YAML configuration file for each experiment, users can switch between experimental settings without modifying the library interface. In addition, the configuration file provides an efficient mechanism for specifying complex subgroup definitions and for consolidating all parameters required for model auditing in one place.

The YAML file contains a range of settings, including the number of estimators in the ensemble used for variance analysis, the sampling fraction for random subsampling from the training set, the metric computation mode, and other relevant parameters. Importantly, subgroups of interest are defined by passing a dictionary of key-value pairs, where the keys denote the relevant column names and the values correspond to the disadvantaged value, or a list of values, of the sensitive attribute. This design enables

subgroup partitioning and also supports the specification of intersectional groups when required. Model configuration: a Python dictionary that maps model names to their initialized instances for analysis. This design supports the auditing of multiple models and enables the evaluation of different model types, thereby providing flexibility for comprehensive model assessment.

**Experimental Details.** We evaluate trade-offs between accuracy, stability, and fairness on four benchmark datasets from policy-relevant domains: ACS Income, ACS Public Coverage, Law School, and Ricci v. DeStefano [5]. The tasks span finance, healthcare, education, and law, with sensitive groups defined by sex, race, or their intersection. Two tasks are drawn from Folktables, using 2018 state-level data from Georgia and California, respectively, each subsampled to 15,000 records for computational tractability. Law School is used in full, whereas Ricci is evaluated with a 67:33 train-test split because of its small sample size.

**Model Training and Evaluation.** To analyse empirical trade-offs between fairness, stability, and accuracy, we combine the proposed stability framework with fairness-oriented preprocessing. Specifically, we apply the IBM AIF360 DisparateImpactRemover [6]. In each run, the dataset is randomly split into training and test sets, the preprocessor is fitted on the training data and applied to both splits, and a base model  $H$  is trained with hyperparameters tuned once per correction-level/model-type pair. Stability is then estimated using a bootstrap-based approximate ensemble of  $m = 200$  models. The full procedure is repeated six times with different random train-test splits for each correction-level/model-type configuration.

**Experimental Design.** Two experiments were conducted for each dataset and task. In Experiment 1, the model architecture was fixed and the fairness-preprocessing correction level,  $\alpha$ , was varied. Random Forest was used throughout, with  $\alpha \in [0,1]$  in increments of 0.1. This experiment was designed to analyse the trade-offs between accuracy and fairness, stability and fairness, and group parity in stability-related fairness. In Experiment 2, one or two relevant values of  $\alpha$  were selected based on Experiment 1, and multiple model classes were trained under the same fairness-correction setting. The evaluated model classes included linear, tree-based, ensemble, and neural network models implemented in scikit-learn. **Model Performance Metrics.** Four dimensions of model performance were considered. Correctness was measured by predictive accuracy. Stability was quantified using the mean standard deviation of predictions and mean label stability across samples. Error parity was measured as disparity in false positive and false negative rates between unprivileged and privileged groups. Stability parity was measured using Std parity and the label stability ratio, which capture group disparities in predictive randomness. A Std parity of 0 and a label stability ratio of 1 indicate equal randomness across groups.

**Experiment 1: Fairness–Stability–Accuracy/Accuracy.** Predictive accuracy remains largely

unchanged for three of the four datasets under fairness-oriented preprocessing, indicating the presence of models with comparable predictive performance but different fairness properties, i.e. the condition for model multiplicity. The exception is Ricci v. DeStefano, where increasing the fairness correction level,  $\alpha$ , reduces accuracy. In this case, multiplicity does not arise because comparatively fairer models exhibit lower predictive performance.

**Stability.** The standard deviation of predictions and label stability are evaluated across fairness levels ( $\alpha$ ), with additional disaggregation by demographic group and prediction outcome. Because Ricci v. DeStefano is too small for this analysis, only aggregate trends are considered. Overall, model stability is affected by fairness preprocessing, but the direction of the effect varies across datasets. Models are consistently more stable on correctly classified samples. In ACS Public Coverage and Law School, stability is higher for privileged than for unprivileged groups, whereas the opposite pattern is observed for ACS Income. The largest stability disparities across groups and error types occur in Law School, while ACS Public Coverage shows the greatest variation across values of  $\alpha$ . Parity metrics. Both the conventional fairness metric based on error-rate disparity and the proposed stability-parity measures, namely Std parity and the label stability ratio, are analysed. Increasing the fairness level generally reduces error-rate disparity across datasets. For Ricci v. DeStefano, however, the unconstrained model achieves perfect accuracy; thus, fairness improvement is obtained by worsening outcomes for the privileged group rather than improving outcomes for the unprivileged group. As a result, fairness preprocessing induces reverse discrimination, with error disparity increasing in favour of the unprivileged group at higher fairness levels. For ACS Income and Law School, the datasets in which model multiplicity is observed, increasing the fairness level improves stability parity: Std parity moves towards 0 and the label stability ratio moves towards 1. By contrast, for ACS Public Coverage, Std parity remains close to its baseline value at  $\alpha = 0$ , whereas the label stability ratio deteriorates slightly as  $\alpha$  increases. Overall, four empirical patterns emerge. First, accuracy and stability generally move together. Second, under model multiplicity, when fairness interventions have little effect on accuracy and stability, improvements in error parity are accompanied by improvements in stability parity. Third, when accuracy remains unchanged but stability varies, improvements in error parity do not improve stability parity. Fourth, when fairness interventions substantially reduce both accuracy and stability, improvements in error parity likewise fail to improve stability parity.

**Experiment 2: Model-Centric Stability Analysis/** We next examine how fairness interventions affect the stability of different model classes. One or two relevant values of  $\alpha$  are selected, multiple models are trained under the same fairness setting, and their performance is compared. Neural networks exhibit the strongest stability response to fairness interventions. This effect is not unidirectional: stability improves for two datasets

and deteriorates for the other two, but in all cases the magnitude of the effect exceeds that observed for other model classes. Neural networks also show the lowest label stability across nearly all datasets, with the exception of LGBM on Ricci, likely due to the very small sample size of that dataset. In addition, they exhibit the weakest stability parity on most tasks among all evaluated model classes. By contrast, linear models are the most stable across tasks. For Ricci, the only dataset that does not exhibit model multiplicity, most

models remain relatively stable. In contrast, for ACS Income, ACS Public Coverage, and Law School, where fairness interventions induce multiplicity, stability trade-offs are strongly model-dependent. Together with the earlier finding that stability losses track accuracy losses, this suggests that when fairness interventions reduce both stability and accuracy, the effect is largely independent of model class. When stability deteriorates while accuracy remains unchanged, however, the effect becomes highly model-specific.

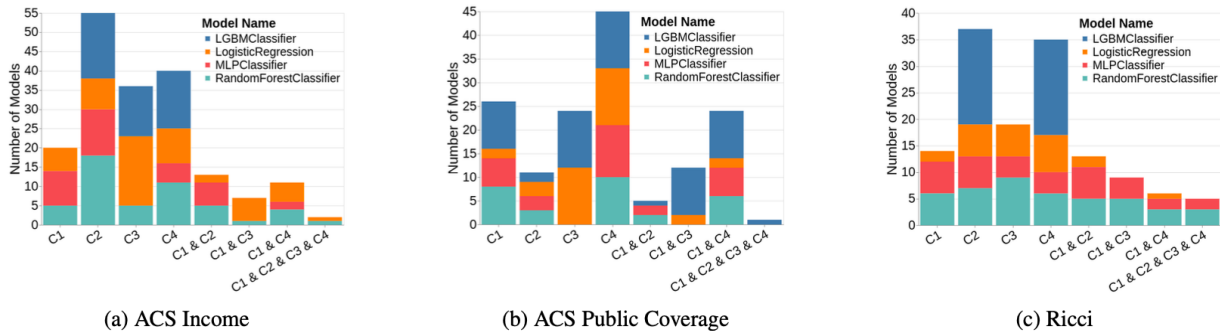


Figure 2. Responsible model selection: incorporating normatively desirable fairness and stability criteria into model selection resolves model multiplicity.

**Responsible Model Selection.** We further assess whether incorporating stability metrics—both overall and group-disparity-aware—improves model selection. To this end, we simulate model selection across all trained models, considering different values of  $\alpha$  in Experiment 1 and different model classes in Experiment 2, with six random runs per setting. In total, approximately 90 models are evaluated for each dataset. Figure 2 reports the number of models selected as “best” under four criteria: accuracy, stability, error parity, and stability parity. These criteria are applied first independently and then jointly. For the three tasks in which multiplicity emerged after the fairness intervention, multiple models achieve comparable accuracy; however, only one or two satisfy all criteria simultaneously, i.e., they remain accurate, stable, and fair with respect to both error parity and stability parity across groups.

By contrast, no single best model is identified for the Ricci dataset. Ricci is the only dataset for which fairness preprocessing does not induce multiplicity and instead reduces predictive accuracy. This result supports the interpretation of multiplicity as an opportunity rather than a challenge [7].

Figure 2 also summarizes the selected models by model class. Tree-based and linear models account for most selected models, confirming their strong performance on tabular data. In addition, these model classes show the most favourable stability profiles under the considered selection criteria.

**Conclusions.** We introduced a software framework (Fig. 1) for integrating fairness and stability assessment into the model development pipeline. Using bias–variance decomposition, we motivated stability parity as a novel group fairness criterion and examined its relationship to accuracy, stability, and error parity under fairness interventions. These results enabled the

formulation of a responsible model selection method under model multiplicity. Although several models may achieve similar accuracy, only one, or a small subset, jointly satisfies the criteria of stability, fairness, and robustness.

## References

1. Bolukbasi, T., Chang, K.W., Zou, J.Y., Saligrama, V. and Kalai, A.T., (2016), Man is to computer programmer as woman is to homemaker? debiasing word embeddings, *Advances in neural information processing systems*, 29.
2. Calders, T., and Verwer, S. (2010), Three Naive Bayes Approaches for Discrimination-Free Classification, *Data Min. Knowl. Discov.*, 21(2): 277–292.
3. Marx, C., Calmon, F., and Ustun, B. (2020), Predictive multiplicity in classification, In *International Conference on Machine Learning*, 6765–6774, PMLR.
4. Creel, K. and Hellman, D. (2021), The Algorithmic Leviathan: Arbitrariness, Fairness, and Opportunity in Algorithmic Decision Making Systems, In Elish, M. C.; Isaac, W.; and Zemel, R. S., eds., *FACCT '21: 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, Virtual Event / Toronto, Canada, March 3-10, 2021, 816, ACM.
5. 26. Le Quy, T., Roy, A., Iosifidis, V., Zhang, W., and Ntoutsis, E. (2022), A survey on datasets for fairness-aware machine learning, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(3): e1452.
6. Bellamy, R. K. E., Dey, K., Hind, M., Hoffman, S. C., Houde, S., Kannan, K., Lohia, P., Martino, J., Mehta, S., Mojsilovic, A., Nagar, S., Ramamurthy, K. N., Richards, J. T., Saha, D., Sattigeri, P., Singh, M., Varshney, K. R., and Zhang, Y. (2019), *AI Fairness 360: An extensible toolkit for detecting and mitigating algorithmic bias*, *IBM J. Res. Dev.*, 63(4/5): 4:1–4:15.
7. Black, E., Raghavan, M., and Barocas, S. (2022), Model Multiplicity: Opportunities, Concerns, and Solutions, In *Proceedings of the 2022 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, FACCT '22*, 850–863. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, ISBN 9781450393522.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ STORY POINTS НА ОСНОВІ СЕМАНТИЧНИХ ЕМБЕДІНГІВ ТЕКСТОВИХ ОПИСІВ ЗАДАЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Оцінювання зусиль є важливою складовою процесу планування в Agile-проектах, де для визначення відносної складності завдань використовується метрика Story Points. Традиційно такі оцінки формуються експертним шляхом під час командних обговорень, що супроводжується значними витратами часу та залежністю від суб'єктивних факторів. В умовах віддаленої взаємодії Agile-команд ці недоліки посилюються, що обумовлює актуальність задачі автоматизованого прогнозування Story Points на основі історичних даних [3; 4].

У дослідженні використано публічний датасет TAWOS, який містить текстові описи задач (title, description) та відповідні значення Story Points. Для побудови моделі прогнозування текстові атрибути задач було об'єднано в єдине текстове представлення, що дозволяє враховувати як короткий опис задачі, так і її детальний контекст [2]. На основі отриманого тексту сформовано семантичні векторні представлення за допомогою попередньо навчених моделей формування ембедінгів, побудованих на трансформерній архітектурі GPT — text-embedding-3-small та text-embedding-3-large [5].

Отримані ембедінги використовувалися як вхідні ознаки для побудови регресійних моделей. У межах дослідження було протестовано методи ElasticNet, Random Forest, ExtraTrees, XGBoost, LightGBM, CatBoost, K-Nearest Neighbors та багатошаровий перцептрон. Оцінювання якості моделей здійснювалося за метриками MAE, MdAE та SA, які є стандартними у задачах прогнозування зусиль [1; 3].

Результати експериментального дослідження для ембедінгів меншої розмірності наведено в таблиці 1.

Аналіз отриманих результатів показує, що модель CatBoost забезпечує найменше значення MAE, що свідчить про високу загальну точність прогнозування. Водночас метод K-Nearest Neighbors демонструє

найкращі значення MdAE та SA, що вказує на високу якість прогнозування для більшості типових задач. Модель ExtraTrees характеризується збалансованими результатами за всіма метриками, що свідчить про її стійкість до шуму та здатність до узагальнення.

Таблиця 1  
Якість базових моделей прогнозування Story Points на основі text-embedding-3-small

Метод	MAE	MdAE	SA
CatBoost	1.7305	1.3144	0.3102
ExtraTrees	1.7824	1.4695	0.2849
Random Forest	1.8597	1.4586	0.2555
KNN	1.7114	1.0363	0.3343
XGBoost	1.9926	1.4301	0.2159
LightGBM	2.3811	1.4886	0.0488
ElasticNet	2.0594	1.4776	0.1844
MLP	1.9324	1.2266	0.2678

Отримані результати дозволили виділити найбільш перспективні моделі для подальшого дослідження, а саме CatBoost, ExtraTrees та KNN.

Подальший етап дослідження був спрямований на аналіз впливу розмірності семантичних ембедінгів на якість прогнозування на основі найбільш перспективних моделей базового етапу, а саме CatBoost, ExtraTrees та KNN. Результати порівняння моделей text-embedding-3-small та text-embedding-3-large наведено у таблиці 2.

Таблиця 2  
Вплив розміру ембедінгів на якість моделей прогнозування Story Points

Модель	MAE	MdAE	SA
CatBoost small	1.7305	1.3144	0.3102
CatBoost large	1.7336	1.3398	0.2999
ExtraTrees small	1.7824	1.4695	0.2849
ExtraTrees large	1.9241	1.4953	0.2330
KNN small	1.7114	1.0363	0.3343
KNN large	1.9759	1.0994	0.1841

Отримані результати свідчать про відсутність суттєвого покращення точності прогнозування при використанні ембедінгів більшої розмірності. Для більшості моделей спостерігається або незначна зміна показників, або навіть їх погіршення.

З метою підвищення якості прогнозування було також досліджено вплив логарифмічної трансформації цільової змінної. Необхідність такої трансформації обумовлена особливостями розподілу значень Story Points, який характеризується наявністю значних викидів. Результати застосування логарифмічної трансформації наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Вплив логарифмічної трансформації на якість моделей прогнозування Story Points

Модель	MAE	MdAE	SA
CatBoost	1.7305	1.3144	0.3102
CatBoost log	1.6310	1.1124	0.3179
ExtraTrees	1.7824	1.4695	0.2849
ExtraTrees log	1.6025	1.1226	0.3338
KNN	1.7114	1.0363	0.3343
KNN log	1.5757	1.0251	0.3344

Аналіз отриманих результатів показує, що логарифмічна трансформація забезпечує покращення якості прогнозування для всіх розглянутих моделей. Зокрема, спостерігається зменшення значень MAE та MdAE, що свідчить про підвищення точності прогнозування як у середньому, так і для типових задач. Підвищення значення метрики SA додатково підтверджує, що моделі після трансформації демонструють кращі результати порівняно з базовим випадковим прогнозом.

На наступному етапі було проаналізовано комбінований вплив логарифмічної трансформації та використання ембедінгів більшої розмірності. Результати цього експерименту наведено у таблиці 4.

Найкращі результати продемонструвала модель ExtraTrees, яка забезпечила найменше значення MAE та найвище значення SA серед усіх розглянутих моделей. Для моделі CatBoost спостерігається помірне покращення результатів, зокрема за метрикою SA, що вказує на її стабільність, проте меншу чутливість до змін розмірності ознак. У випадку моделі KNN збільшення розмірності ембедінгів не призводить до покращення

результатів навіть після застосування логарифмічної трансформації.

Таблиця 4

Порівняння впливу найкращих варіантів моделей з логарифмічною трансформацією ембедінгів більшої розмірності на якість моделей прогнозування Story Points

Модель	MAE	MdAE	SA
CatBoost log	1.6310	1.1124	0.3179
CatBoost large log	1.6201	1.0998	0.3698
ExtraTrees log	1.6025	1.1226	0.3338
ExtraTrees large log	1.5916	1.0631	0.3868
KNN log	1.5757	1.0251	0.3344
KNN large log	1.5839	1.1432	0.3503

Проведене дослідження підтверджує ефективність використання семантичних ембедінгів текстових описів задач для прогнозування Story Points. Оптимальне поєднання методів машинного навчання та попередньої обробки даних дозволяє суттєво підвищити точність оцінювання зусиль. Найкращі результати отримано для моделі ExtraTrees у поєднанні з логарифмічною трансформацією, що робить її перспективною для використання у системах підтримки прийняття рішень під час планування спринтів, особливо в умовах віддаленої взаємодії Agile-команд.

## Список літератури

1. Yalçiner B., Dinçer K., Karaçor AG., Efe MÖ. Enhancing Agile Story Point Estimation: Integrating Deep Learning, Machine Learning, and Natural Language Processing with SBERT and Gradient Boosted Trees // Applied Sciences. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14167305>
2. Tawosi V., Al-Subaihini A., Moussa R., Sarro F. A versatile dataset of agile open source software projects // Proceedings of the 19th International Conference on Mining Software Repositories (MSR '22). Association for Computing Machinery. 2022. P. 707–711. DOI: <https://doi.org/10.1145/3524842.3528029>
3. Choetkiertikul M., Dam H. Khanh., Tran T., Pham T., Ghose A., Menzies T. A deep learning model for estimating story points // IEEE Transactions on Software Engineering. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSE.2018.2792473>.
4. Kassem H., Mahar K., Saad A. Story Point Estimation Using Issue Reports With Deep Attention Neural Network // e-Informatica Software Engineering Journal, vol. 17, no. 1, 2023. DOI: 10.37190/e-Inf230104.
5. Vector embeddings // OpenAI Platform. URL: <https://platform.openai.com/docs/guides/embeddings> (accessed 21.03.2026).

## ІНФОРМАЦІЙНА СТІЙКІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ПІДЗЕМНИХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

Підземні інженерні мережі (водопровідні, каналізаційні, газові, теплові, електричні кабелі) є критично важливою інфраструктурою для забезпечення життєдіяльності міст і промислових підприємств. Вони характеризуються фізичною розподіленістю, обмеженим доступом для обслуговування та високою залежністю від безперебійного функціонування. В умовах сучасних загроз, зокрема аварій та кібератак на системи SCADA, виникає необхідність забезпечення інформаційної стійкості цих мереж [1-3].

Інформаційна стійкість підземних мереж визначається як здатність системи моніторингу та управління підтримувати безперервний збір, обробку та передачу достовірної інформації про стан мережі, навіть у разі аварій, технічних відмов або кібератак [4-5].

До основних загроз для підземних мереж належать:

відмови сенсорів або контролерів SCADA;

фізичні пошкодження труб і кабелів;

витоки газу, води або тепла;

кібератак на системи автоматизації;

природні або техногенні аварії [3, 6].

В умовах таких загроз система повинна забезпечувати запобігання, адаптацію, реагування та швидке відновлення [1, 12].

Серед систем моніторингу підземних мереж виділяють наступні.

1 SCADA-системи.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) дозволяють збирати дані з датчиків тиску, витоку, рівня рідини, температури, управляти насосами та клапанами, а також формувати аварійні сповіщення. Приклади: Siemens SIMATIC SCADA, Schneider Electric EcoStruxure [8, 9].

2 Системи детекції витоків:

HWM Water Management Systems – контроль тиску та витоків у водопроводах;

GasSecure – бездротові датчики газу для раннього виявлення витоків;

SmartBall (Xylem) – «плаваючі» пристрої для виявлення витоків і дефектів труб [10, 11].

3 IoT-платформи.

Sensus FlexNet, Kamstrup FlowIQ – бездротові мережі для збору даних з лічильників та датчиків, передача на сервери для аналітики [5, 6].

4 Аналітичні та ГІС-платформи:

Bentley OpenUtilities – прогнозування витоків, оптимізація насосів;

Esri ArcGIS Utility Network – інтеграція геоданих і SCADA для управління підземними мережами [7].

5 Практичні комерційні рішення:

SebaKMT® – раннє виявлення витоків із використанням акустичних і гідравлічних сенсорів;

Electro Scan Inc. – сканування трубопроводів для діагностики стану та передачі даних на сервер [6, 7].

Для забезпечення інформаційної стійкості підземних мереж необхідне поєднання технічних, організаційних і аналітичних заходів:

1. Технічні: резервування датчиків, шифрування каналів, інтеграція SCADA та IoT [1, 5].

2. Організаційні: регламентація доступу, навчання персоналу, аварійні процедури [2, 4].

3. Аналітичні та прогнозні: виявлення аномалій, прогнозування аварій, інтеграція з ГІС [7].

Застосування таких комплексних підходів дозволяє забезпечити безперервність моніторингу та управління, швидке реагування на аварії та підтримку працездатності мереж у критичних умовах [12-17].

Інформаційна стійкість підземних інженерних мереж забезпечує надійний збір і передачу даних, своєчасне виявлення аварій, адаптацію та відновлення функцій управління. Використання SCADA, IoT, аналітичних платформ та практичних технологій моніторингу робить системи підземних мереж стійкими до фізичних і кіберзагроз, що є критично важливим для безпеки міст і держави [1-7, 12, 17].

## Список літератури

1. Korobeynikov F. O. Conceptual Framework for Information Systems Resilience // Problems in Programming. – 2023. – № 1. – С. 45–56. – URL: <https://pp.isofts.kiev.ua/ojs1/article/view/611>
2. Bakalynsky O., Gnatiuk S., Sydorenko V. Resilience of Information Infrastructure under Cyber Threats // Public Security and Public Safety Journal. – 2022. – № 4. – С. 22–31. – URL: <https://psssj.eu/index.php/ojsdata/article/view/91>
3. Masik G. Development of the Resilience Paradigm in the Field of Security // Economic Modeling. – 2023. – Т. 45, № 4. – С. 77–85. – URL: <https://www.emodel.org.ua/en/archive/2023/45-4/45-4-7>
4. HWM Water Management Systems – UK, Smart Water Monitoring. – URL: <https://www.hwmglobal.com/uk-products/water-monitoring/>
5. SmartBall Technology (Xylem) – Leak Detection for Pipelines. – URL: <https://www.xylem.com/en-us/products/smartball/>
6. SebaKMT® – Leak Detection Systems. – URL: <https://sebakmt.com/uk/produkte/monitoring-netzwerk/>
7. Esri ArcGIS Utility Network. – URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-utility-network/overview>
8. Siemens SIMATIC SCADA – URL: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/scada.html>
9. Schneider Electric EcoStruxure – URL: <https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/smart-infrastructure/ecostruxure/>
10. GasSecure AS – Wireless Gas Leak Detection. – URL: <https://www.gassecure.com/>
11. Kamstrup FlowIQ – Intelligent Metering Solutions. – URL: <https://www.kamstrup.com/en-en/products-solutions/meters/flowiq-2200>
12. ENISA. Cyber Resilience and Critical Infrastructure Protection. – European Union Agency for Cybersecurity, 2021. – URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/cyber-resilience-critical-infrastructure>
13. Laprie J.-C. From Dependability to Resilience // IEEE/IFIP Conference on Dependable Systems and Networks. – 2008. – P. 1–12.
14. World Economic Forum. Global Cybersecurity Outlook. – Geneva, 2023. – URL: <https://www.weforum.org/reports/global-cybersecurity-outlook-2023>
15. Electro Scan Inc. – Pipeline Assessment Technology. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electro\\_Scan\\_Inc](https://en.wikipedia.org/wiki/Electro_Scan_Inc).
16. AquaSentinel: AI based Water Network Monitoring. – URL: <https://arxiv.org/abs/2511.15870>
17. SWI-FEED: IoT Framework for Water Distribution Monitoring. – URL: <https://arxiv.org/abs/2404.07692>



Information Systems  
Department

«Сучасні інформаційні системи та технології  
в цифровому суспільстві»

## СЕКЦІЯ 2. СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ

UDC 004.415.2:004.056.5

Brynza Natalia  
natalia.brynza@hneu.net

*Simyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv*

### A SYSTEMATIC APPROACH TO COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE TESTING METHODS

Software quality assurance is one of the most significant challenges confronting the modern IT industry. Errors in software products not only lead to direct financial losses but also diminish user confidence, disrupt business operations, and weaken a company's competitiveness in the market. A crucial aspect of quality management is the testing process, which helps identify defects at various stages of the software product life cycle. However, selecting the most effective testing approach can be challenging because each method has its own advantages and limitations. The effectiveness of a testing approach is often influenced by the specific requirements of the project at hand.

Manual testing is traditionally viewed as a universal method for verifying software functionality, user interface, and usability. Its primary advantages include flexibility and the capacity to handle non-standard or specific interaction scenarios. However, this approach is also known to be labor-intensive and to have a relatively low execution speed. Automated testing greatly accelerates the verification process and ensures consistent, repeatable results. However, it requires a substantial initial investment to develop, implement, and maintain test scenarios. Intelligent testing, which leverages artificial intelligence and machine learning, further improves quality control by automating test generation, adapting to code changes, and predicting potential defects. Nevertheless, this approach is still in active development and comes with challenges, including a high entry threshold, dependence on the quality of the training data, and a significant investment in computing infrastructure.

Under such conditions, a scientific problem arises: the lack of a unified, comprehensive approach to the rational selection and comparison of testing methods that consider the characteristics of the software product, available resources, customer requirements, and the specifics of the project life cycle. This necessitates the development of a systematic methodology that would allow comparing different types of testing according to objective criteria and formulating practical recommendations for their most appropriate and effective application.

The choice of technologies for exploring a systematic approach to analyzing manual, automated, and intelligent software testing is influenced by the need to combine theoretical methods of systematic analysis with practical tools. This combination ensures

efficient data processing, model development, and evaluation of results.

To facilitate manual testing, we selected tools like TestRail, Jira, and Redmine. These tools effectively manage test documentation, test planning, and defect tracking. For automated testing, we chose Selenium, JUnit, and TestNG, all recognized industry standards for developing and executing test scenarios. Additionally, we incorporate AI-driven solutions such as Testim, Mabl, and AppliTools for intelligent testing. These solutions leverage machine learning algorithms to automatically adjust tests in response to application changes, minimize false positives, and improve test stability.

Implementing a systematic approach to the analysis of manual, automated, and intelligent software testing involves a structured process that combines theoretical training, data collection and processing, modeling, and the practical evaluation of results. This process has been developed with the specifics of the selected technologies and methods, as well as the needs of the modern IT market as of October 2025, in mind.

The first stage involves preparing and gathering source data. This includes analyzing open sources, particularly GitHub repositories, as well as reviewing analytical reports from IBM and Google covering the period from 2022 to 2025. Additionally, this stage entails collecting information on test cases and their results. The second stage consists of a comparative analysis of different testing methods. The evaluation criteria for this analysis include cost, defect detection accuracy, and execution time. The third stage is devoted to mathematical modeling of testing processes. The fourth stage involves using machine learning methods. The fifth stage involves conducting experiments. Testing is performed on a real or model project using selected tools: TestRail for manual testing, Selenium for automated testing, and Testim for intelligent testing. The study demonstrates that using a systematic approach to analyze manual, automated, and intelligent software testing is feasible.

### References

1. Brynza N. Analysis of the effectiveness of software testing technologies for information systems / N. Brynza, K. Lobanov // SWorldJournal. – SWorld &D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishov, Bulgaria, 2026. – Iss. 35. – P.1. – P. 11-22.



## SMALL LANGUAGE MODELS FOR PERPLEXITY-BASED TEXT CLASSIFICATION

Classifying whether text is AI-generated or human-written remains a significant challenge, particularly given the rapid development of new large language models (LLMs). Even if a theoretically perfect classifier were available, a further issue arises: what are the explicit reasons underlying its specific decisions?

The use of LLMs, the most powerful artificial intelligence tools, is very popular nowadays. But the majority of them are so large that deployment in local environments, such as a home PC or laptop, is not possible. In this research, we are interested in “small” language models (SLMs) that can run on regular hardware without high resource requirements. As we will be using perplexities, these models should also provide sufficient data to calculate them.

Perplexity is one of the well-known features of the text that reflects the average uncertainty or “surprisal” the model experiences when generating or evaluating text. A low perplexity value indicates that the model confidently chooses the required tokens at generation, a high value indicates a greater variety of tokens used and a higher level of “uncertainty”. Conversely, a higher value indicates less reliable predictions of subsequent tokens and poorer model quality. It is believed that human-generated texts have higher perplexity values than AI-generated texts. Language models are optimized to generate text that is statistically probable for their training data, which naturally results in low perplexity by design. Human writing often deviates from these statistical norms, introducing elements of “surprise” or higher perplexity. So, higher perplexity can be interpreted as an indicator of human creativity, beyond statistical features. On the other side, sophisticated LLMs trained on diverse data can reach human-like perplexity.

In this research, we used the dataset proposed and described in [1]. The dataset contained 2533 human-written text chunks, and 2634 AI-generated (GPT-4o-mini) pieces.

At the first stage, we tested different SLMs to determine whether the perplexity calculated on them could be used to classify AI-written and human-written texts. We applied a brute-force search for the classification threshold, and a perplexity value of 14.28 yielded 0.71 accuracy with the Gemma 3 1B IT model; the same accuracy was obtained with the Gemma 3 270m IT model at a perplexity value of 23.28. Finally, the classification based on the Llama 3.2 1B model achieved 0.69 accuracy with a perplexity of 9.28. These models showed positive

feedback on the potential of the perplexity value for classification.

Further testing was conducted using a modified version of the dataset, which was built in several steps. The input text is tokenized into numerical IDs and attention masks to distinguish actual tokens from padding; these are then fed into an SLM running in inference mode to produce logits, which are raw prediction scores for each possible next token. The logits are shifted to align with the appropriate input tokens, reflecting the model's next-token prediction mechanism. Finally, a softmax function is applied to the aligned logits, generating output probabilities that provide a detailed, token-level profile of the input text for further analysis. As a result, each input text chunk is represented as a probability vector of size 567 (for Gemma models) and 650 (for Llama). Smaller vectors were padded with zeros to match the length of the longer vector.

Applying KNN to these vectors' classification yielded an accuracy of about 0.68. We have also trained many CNN models with different architectures for classification and selected the best ones. They start with three 1D convolutional layers with 16 RELU-activated neurons and a kernel size of 3, followed by a 1D global average pooling layer. Models based on Gemma 3 SLM had just 2 dense neurons with RELU and an L2 (0.02) regularizer after the feature detection layers and achieved 0.822 and 0.8424 in accuracy for Gemma 3 270m/1 B, respectively. The Llama model features ended with two dense layers containing 16 RELU neurons and 2 RELU neurons. An L2 (0.01) regularizer was applied for both. The accuracy for this model was 0.8559.

It is worth noting that we used small language models (with 1B parameters or fewer) in this research to build feature vectors and classify AI-generated text in Ukrainian. But the text paragraphs we tried to process were generated by much more powerful existing LLM models with hundreds of billions of parameters (gpt-4o-mini for the train/test dataset, GPT5 / Gemini 2.5 Flash / Claude Sonnet 4.5 for the test document example). Probably, implementing the proposed idea could yield better results for the perplexity calculated with more powerful models.

## References

1. O. Peredrii. Shallow ANN models to classify Ukrainian AI-generated text. *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 4(82), 2025, pp. 108–113. doi:10.26906/SUNZ.2025.4.108-113.



Hryshko Andrey<sup>1</sup>, Udovenko Serhiy<sup>2</sup>  
 akimenkokir@gmail.com, oleksandr.kolgatin@m.hneu.edu.ua

<sup>1</sup> Structured Markets Group at Citi, Sidney, Australia

<sup>2</sup> Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv

## APPLICATION OF ADAPTIVE CRITICS IN REINFORCEMENT LEARNING PROBLEMS

The report considers the possibility of using adaptive critics in RL learning tasks.

Using neural network models for function approximation in reinforcement learning problems differs from conventional supervised learning. In conventional approximation problems, learning is performed on a training set whose elements are constantly repeated. In reinforcement learning, there is no predefined training set. In reinforcement learning, the true values of the function being approximated are not known in advance, and learning occurs based on estimates of  $Q$ -values, which gradually change during the learning process. The  $Q$ -function is adjusted based on estimates of the current and subsequent states, i.e., on estimates of adjacent states. At the same time, the learning process assumes the possibility of short-term losses in order to subsequently obtain maximum gains over a long time interval. Due to this, reinforcement learning is a method conceptually suitable for effective work in intelligent systems with a high level of internal and external disturbances (for example, in trading systems, inventory management systems, dynamic object control systems under uncertainty, etc.). Adaptive critic designs can be viewed as an extension of reinforcement learning models for the case where both situations and actions are defined by state vectors  $S$  and action vectors  $A$ , and the standard iterative generation of  $Q$ -function values fails. In this case, it is advisable to represent the characteristics of the decision-making system using parametrically defined approximating functions (e.g., artificial neural networks), and training is performed through iterative parameter optimization [1, 2]. Agent designs based on adaptive critics include two main blocks: "Critic" and "Actor":

- "Critic" is the system block that evaluates the quality of its operation;
- "Actor" is the system block that defines the agent's actions.

Below are the most common adaptive critic designs: the  $Q$ -critic and the  $V$ -critic, which use neural network approximation of the control system characteristics. Let's consider a modified scheme for using the  $Q$ -critic. Assume that both the "Critic" and the "Actor" are multilayer perceptrons (the same as those used in the backpropagation method) with synapse weights  $W_C$  and  $W_A$ . This scheme operates as follows. At time  $t$ , the "Actor" block determines an action vector (commands to effectors)  $A(t)$  based on the input situation vector  $S(t)$ . The action  $A(t)$  is

executed, and the agent receives a reward  $r(t)$ . Two vectors are fed to the inputs of the "Critic" block:  $S(t)$  and  $A(t)$ .

Based on this composite vector, the "Critic" block evaluates the quality  $Q(t) = Q(S(t), A(t))$  of the action  $A(t)$  in the current situation  $S(t)$ . It then moves on to the next time point  $(t + 1)$ . All operations are repeated, including evaluating the value of  $Q(t+1)$ . After this, the time difference error is determined.

Neural network training is performed as follows:

$$\Delta W_C = \alpha_1 \text{grad}_{W_C}(Q(t)) \delta(t),$$

$$\Delta W_A = \alpha_2 \sum_k \{ [\partial Q(t) / \partial A_k(t)] \text{grad}_{W_A} A_k(t) \},$$

where  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are the learning rate parameters.

The derivatives with respect to the synapse weights  $\text{grad}_{W_C}(\cdot)$  and  $\text{grad}_{W_A}(\cdot)$ , as well as  $\partial Q(t) / \partial A_k(t)$ , are calculated as derivatives of complex functions, similar to how this is done in the backpropagation method. This means taking derivatives with respect to all components of the vector  $A(t)$  and summing over all these components.

The purpose of synapse weight changes is to reduce the error in estimating the expected total reward (training the Critic block) and increase the value of the reward itself when the agent encounters similar situations (training the Actor block). Training is performed using a gradient-based method. An analysis of the state of the art in the application of machine learning methods and their modifications demonstrates the feasibility and relevance of developing hybrid machine learning methods in intelligent systems of various functional purposes (in particular, intelligent control systems), which will improve the effectiveness of decision-making strategies.

## References

1. C.Hayes, R.Radulescu, E.Bargiacchi, et al. (2022). A practical guide to multi-objective reinforcement learning and planning. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 36. arXiv:2103.09568. doi:10.1007/s10458-022-09552-y. S2CID 254235920.
2. A. Hryshko, S. Udovenko, and L. Chala. «Hybrid methods of machine learning in dynamic object control systems», *Scientific and Technical Journal «Bionics of intelligence»*, no. 1(78), pp. 78-84, 2012.

## SHALLOW NEURAL NETWORKS FOR CLASSIFYING UKRAINIAN AI-GENERATED CONTENT

Artificial Intelligence (AI) and Generative AI (GenAI) tools are fundamentally transforming education by providing new opportunities for both students and teachers. These technologies facilitate personalized learning through chatbots, automate routine tasks, generate tests and assignments (including grading), and customize course content, among other advantages.

A major risk to academic integrity arises from the use of AI-generated content as a substitute for expected human work. Conversely, current AI content detectors are unreliable, potentially leading to false accusations of academic misconduct. Although the use of such detectors is generally discouraged, they remain in practice. Instead of relying on AI detectors, it is recommended to improve teaching methods and educate all interested parties on the responsible use of AI tools.

The goal of this research [1] is to develop an AI tool for detecting AI-generated content in Ukrainian within the narrow domain of IT documents and coursework. Based on the considerations outlined above, this tool could be used only as an assistant (not a judge), requiring human validation and making no automated decisions. The tool is designed to utilize custom data, employ shallow artificial neural network (ANN) models that can be trained on a standard laptop, and provide transparent quality evaluation.

To address this task, a custom dataset was created, comprising 2533 human-written text chunks and 2634 AI-generated (GPT-4o-mini) pieces. All fragments underwent manual inspection and cleaning, resulting in a challenging dataset that is difficult for humans to classify accurately.

This dataset was partially evaluated using several commercial detectors, yielding the following results:

- GPTZero provided many "uncertain" decisions; for five human-written samples, only one was correctly identified;

- ZeroGPT misclassified 9 out of 10 human-written pieces as AI-generated;

- Copyleaks & Originality.ai, while showing high confidence, still produced notable false positives and false negatives on the Ukrainian data;

- Isgen.ai correctly classified all human-written test chunks but missed 40% of AI-generated pieces.

A traditional natural language processing (NLP) pipeline was employed to construct shallow ANN models, consisting of an embedding layer, a single dense layer, and a single sigmoid output neuron. The optimal number of neurons was determined through a grid search procedure. Five specific architectures,

designated M1–M5, were selected, achieving test accuracy rates of 87–88%.

The developed AI tool processes PDF documents using two primary approaches.

1. **Chunk Report.** The PDF document is divided into non-overlapping text chunks of approximately 1000 symbols each, with each chunk processed by the five models M1–M5. The results are averaged per chunk, and statistics are compiled to indicate the overall probability that a random text chunk from the document is AI-generated. A histogram summarizes the classification results for all chunks (Fig. 1).

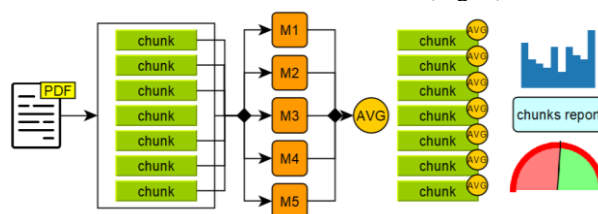


Figure 1. The processing pipeline to create a chunks report.

2. **Sentence Report.** To analyze individual sentences, the text is divided into overlapping chunks, with the step length corresponding to the sentence length. The first 1000 symbols form the initial chunk; subsequent chunks are created by shifting the window to exclude the first sentence, then the second, and so forth. Each sentence appears in multiple chunks, allowing the accumulation of prediction results for each sentence as represented across these chunks. Each prediction is already averaged across all models M1–M5, and these values can be further averaged or visualized without aggregation for more detailed analysis, resulting in a single output value per sentence.

The findings confirm that AI-content classification remains a complex and evolving challenge. Although the shallow models provide a solid foundation with approximately 88% accuracy, substantial opportunities for improvement exist, including evaluating more advanced models and enhancing ANN explainability, as the current models function as black boxes and cannot justify their decisions.

## References

1. Peredrii O. "Shallow ANN models to classify Ukrainian AI-generated text," *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 4(82), 2025, pp. 108–113. doi:10.26906/SUNZ.2025.4.108-113. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/uk/article/view/4113/3443>

## RAG SYSTEM FOR EDUCATIONAL CHAT BOT BASED ON OPENAI, PINECONE AND LANGCHAIN

Modern challenges in education require innovative solutions, and artificial intelligence (AI) is becoming an increasingly important tool for improving the learning process. AI can help personalise learning, automate assessment, and provide real-time support to students.

Consider various ways of using AI in education and its potential benefits:

- Personalisation of learning: AI can analyse data on students' learning habits and performance to create individual learning plans.

- Automation of assessment: AI can automatically grade tests and assignments, allowing instructors to focus on more complex aspects of teaching. This also provides students with rapid feedback.

- Student support: AI can provide real-time support via chatbots and virtual assistants.

- Data analysis: AI can analyse large amounts of data about the educational process to identify trends and problems.

As the first step in implementing AI at HNEU, it is planned to start with small projects such as creating a chatbot to support prospective applicants. This will allow us to gain experience in implementing AI and evaluate its effectiveness in improving the educational process.

It is proposed to create a RAG (Retrieval-Augmented Generation) system [1] that uses a vector database containing information about the university, courses, the regulatory framework, and answers to frequently asked questions.

For the implementation of the RAG system for the chatbot, the following architecture is proposed:

- Vector database — Pinecone: This database will contain all necessary information, split into chunks (small informational parts) [2]. Chunks are used to quickly retrieve answers to students' questions.

- To populate the vector database, information will be scraped from the official university website and other sources, as specified via an administrator interface. The Scrapy library in Python is proposed to implement this process. Collected data will be processed and split into chunks for further storage in the vector database.

- As a basis, it is proposed to use the GPT-5 mini model, which will be adapted to work with the vector database.

- The server-side is proposed to be implemented in Python using the Django framework. For integration with the OpenAI API, the OpenAI Python SDK, LangChain, LangGraph libraries, and the LangSmith platform will be used.

- A simple JavaScript widget will be developed for users (Fig. 1) and integrated into the official university website.

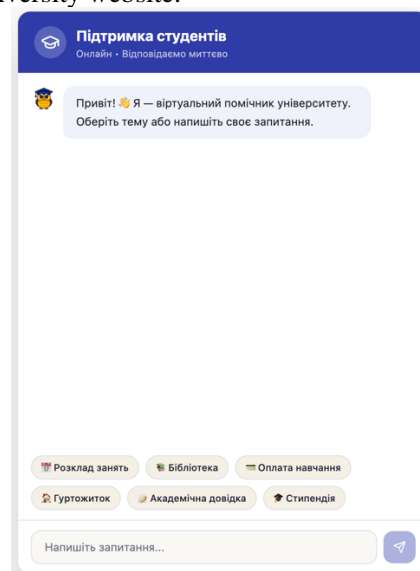


Fig. 1. Chatbot application form layout

Implementing this RAG system for the chatbot will enable students to receive quick, accurate answers to their questions, improving their learning experience and reducing the workload on instructors and administrators. It will also contribute to increasing the level of digitalisation of education at the university and creating a more innovative learning environment.

## References

1. Build a custom RAG agent with LangGraph, LangChain Docs, <https://docs.langchain.com>
2. Dziuban Yu. Automating tech support using RAG: comparing OpenAI + Pinecone and OpenAI Assistants API, DOU, 2023, <https://dou.ua/>

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОЇ АДАПТАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДО НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

За наслідками надзвичайних ситуацій для логістичних мереж виникає необхідність розробки планів дій, спрямованих на швидку реструктуризацію ланцюгів постачання [1]. Завдання відновлення логістичних мереж розв'язуються з урахуванням множини функціональних і витратних показників чи обмежень та мають відмінності від традиційних задач їхньої оптимізації [2–3]. Розглядається задача для трирівневої централізованої мережі, для якої відомі [2]: множина елементів, що залишились неушкодженими  $n$ ; її топологічна структура (місця розташування споживачів, терміналів, центру, ланцюги між центром, терміналами і споживачами)  $s'_{ij}$ ; наведені витрати на створення та (або) відновлення терміналів, реалізацію перевезень; витрати ресурсів, які можуть бути повторно використані в оновленій мережі. Необхідно визначити найкращий з множини допустимих варіант  $s \in S$  мережі за показниками оперативності та витрат.

З використанням введених позначень цільову функцію інтервально поданих витрат для цієї задачі запропоновано подати у такому вигляді:

$$[k_l(s', s)] = \sum_{i=1}^n [c_i] s_{ii} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [c_{ij}] s_{ij} \rightarrow \min_{s \in S}, \quad (1)$$

$[c_i]$ ,  $[c_{ij}]$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  – інтервальне подання наведених витрат на експлуатацію  $i$ -го терміналу і реалізацію перевезень між елементами  $i$  та  $j$ ;  $s'_{ij} = 1$ , якщо між елементами  $i$  та  $j$  існує

безпосередній зв'язок та  $R^0 = [r_{ij}^0]$   $s'_{ij} = 0$  – в іншому випадку ( $i = 1$  – відповідає центру;  $s'_{ii} = 1 \forall i = \overline{1, n}$  – якщо на базі  $i$ -го елемента утворено термінал). Інтервал часу на доставку вантажу до  $i$ -го отримувача складається з часу доставки від центру до терміналу  $[t_{1j}(s)]$ , обробки вантажу в ньому  $[t_j(s)]$  та доставки його від нього до отримувача  $[t_{ji}(s)]$ :

$$[k_2(s)] = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \sum_{j=1}^n \{ [t_{1j}(s)] + [t_j(s)] + [t_{ji}(s)] \} s_{ji} \right\} \rightarrow \min_{s \in S}. \quad (2)$$

Математичну модель двокритеріальної задачі пропонується подати у такому вигляді:

$$\begin{cases} [k_1(s', s)] \rightarrow \min_{s \in S}, & k_1(s', s) \leq k_1^*, \\ [k_2(s', s)] \rightarrow \min_{s \in S}, & [k_2(s)] \leq k_2^*, \end{cases} \quad (3)$$

де  $k_1^*$ ,  $k_2^*$  – граничні допустимі значення показників витрат і оперативності, що визначають обмеження задачі.

Вибір варіанту адаптації пропонується здійснювати за узагальненим показником [3–4]:

$$s^o = \arg \max_{s \in S^*} [P(s)], \quad (4)$$

$$[P(s)] = \sum_{i=1}^3 \lambda_i [\xi_i(s)] + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 \lambda_{ij} [\xi_i(s)] [\xi_j(s)] + \dots, \quad (5)$$

де  $\lambda_i$ ,  $\lambda_{ij}$  – вагові коефіцієнти критеріїв та їх добутків  $\lambda_i \geq 0$ ,  $\lambda_{ij} \geq 0$ ;  $\xi_l(s)$  – функція корисності локального критерію  $k_l(s)$ ,  $l = i, j$ .

Для нормалізації значень локальних критеріїв пропонується використовувати універсальну функцію-склеюку  $\xi_l(s)$ , яка дозволяє реалізувати як лінійні, так і нелінійні (включаючи S- і Z-подібні залежності від значень локального критерію) та має меншу обчислювальну складність ніж класичні функції корисності [2].

Напрямок подальших досліджень може бути розроблення імітаційних статистичних моделей для уточнення оцінок оперативності мереж та виявлення вузьких місць у них та математичних моделей і методів для планування відновлення і розвитку топологічних структур мереж.

### Список літератури

1. О. О. Морозов, “Методика розв’язання задачі синтезу топологічної та функціональної структур систем ремонту озброєння і військової техніки”, Науковий вісник Київського інституту національної гвардії України, №1, с. 6–10, 2023, doi: 10.59226/2786-6920.1.2023.6-10
2. V. Bezkorovainyi, A. Binkovska, V. Noskov, V. Gopejenko, and V. Kosenko, “Adaptation of Logistics Network Structures in Emergency Situations”, Advanced Information Systems, no. 4, vol. 9, pp. 39–50, 2025, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.4.06>.
3. V. Beskorovainyi, A. Sudik, “Optimization of topological structures of centralized logistics networks in the process of reengineering”, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, no. 1 (15), pp. 23–31, 2021, doi: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.023>
4. В. В. Безкоровайний, В. М. Русскін, та С. В. Тітов “Математична модель задачі оптимізації логістичних мереж в умовах інтервальної визначеності вхідних даних”, Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, №103, с. 95–103, 2023, doi: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.0.95

## МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ЕТАПІ ЇХ РЕІНЖІНІРИНГУ

Зміни номенклатури і обсягів виробництва, впровадження засобів автоматизації й автоматики, потребують відповідних змін у структурі й обладнанні технологічних процесів (ТП) та системах управління ними. Основу інфраструктури систем управління ТП складають комп'ютерні мережі (КМ), які дозволяють автоматизувати функції управління різних рівнів [1, 2]. Завдання реінжинірингу КМ Task пов'язане з необхідністю її реорганізації внаслідок суттєвих змін завдань управління, які роблять існуючий варіант побудови малоефективним. Оптимізація КМ в процесі її реінжинірингу (проектування, модернізації чи планування розвитку) передбачає ітераційне вирішення з використанням технології штучного інтелекту комплексу комбінаторних завдань структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації [3]:

$$Tasks = \{Task_i\}, \quad i = 1, 6 \quad (1)$$

де  $Task_1$  – вибір принципів побудови;  $Task_2$  – оптимізація структури;  $Task_3$  – вибір топології елементів і каналів;  $Task_4$  – вибір технології функціонування;  $Task_5$  – вибір параметрів елементів і каналів;  $Task_6$  – оцінка ефективності та вибір кращого варіанту.

З урахуванням стохастичності потоку запитів до ресурсів мережі, часу їх передачі та обробки актуальною є задача визначення «вузьких місць» мережі. Для її розв'язання пропонується використати підхід на основі імітаційного статистичного моделювання. Будемо розглядати КМ як багатозадачну багатоканальну систему масового обслуговування (СМО) [4]:

$$Q = \langle A, B, C, D, E, F \rangle, \quad (2)$$

де  $A$  – вхідні потоки запитів (закони розподілу);  $B$  – потоки обслуговувань (закони розподілу);  $C$  – множина внутрішніх параметрів (обсяги пам'яті, пропускні здатності, продуктивності вузлів і серверів);  $D$  – множина станів елементів мережі;  $E$  – схема передачі запитів і результатів між елементами мережі;  $F$  – алгоритм диспетчеризації запитів (дисципліна обслуговування).

При виборі принципу побудови моделювального алгоритму пропонується враховувати, що в процесі функціонування мережі можна виділити дві підмножини станів: неособливі, у яких стан мережі не змінюється, та особливі, у яких стан мережі змінюється стрибком. Відслідковуючи у часі особливі стани мережі, можна отримати інформацію достатню для побудови функцій зміни її стану з урахуванням випадкового характеру процесу. При виборі

засобів програмування для реалізації моделювального алгоритму враховувалися такі вимоги [4]: зручність опису всіх етапів процесу функціонування мережі; зручність введення вхідних даних, внесення змін до структури і параметрів моделі, що відображають зміни структури і параметрів мережі; ефективність засобів створення моделі, збору статистики, аналізу і відображення результатів моделювання. З урахуванням цього, для реалізації моделювання обрано пакет імітаційного моделювання систем з чергами (масового обслуговування).

Для отримання достовірних результатів було розв'язано основні задачі тактичного планування, пов'язані з вибором початкових вимог і визначенням умов зупинки експериментів. З метою підвищення точності отримуваних оцінок здійснювались множини експериментів з подальшою статистичною обробкою результатів.

Використання запропонованої імітаційної статистичної моделі процесу функціонування КМ дозволяє підвищувати точність результатів моделювання за рахунок врахування ймовірного характеру потоку запитів до ресурсів мережі і часу їх виконання. Це сприятиме вибору найбільш ефективних варіантів побудови мереж за множиною показників у технологіях їх оптимізації. Напрямок подальших досліджень може бути розроблення технології реінжинірингу і планування розвитку виробничих технологічних процесів і систем управління ними з використанням технологій штучного інтелекту в умовах неповної визначеності вхідних даних з урахуванням множини функціональних і витратних показників.

### Список літератури

1. J. Chaidir, and H., "Haerofiatna Network Infrastructure Development in Serang District", International Journal of Management Technology, 2023, vol. 10, no. 1, pp. 11–19.
2. Optimization mathematical modeling of communication networks / V.M.Bezruk, V.V.Semenets, D.V.Chebatarova, N.M.Kaliuzhniy [etc.]. Kharkiv: PC «Technology Center», 2019. 192 p.
3. Безкорвайний В. В., О. М. Драз, Математична модель багатокритеріальної задачі реінжинірингу топологічної структури корпоративної комп'ютерної мережі / Міжн. конф. «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» // Зб. тез доповідей. Харків, 2024, с. 19–21.
4. Нефьодов Л. І., Невлюдов І. Ш., В. В. Безкорвайний CALS-технології і системи. Харків: ХНУРЕ, 2021. 272 с.

## ОНТОЛОГІЧНА СИСТЕМА ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ ЗАСОБАМИ NLP

У сучасному IT-середовищі фахівці стикаються з проблемою надмірної кількості інформації та складністю вибору оптимального шляху навчання. Найвні освітні платформи часто надають розрізнені знання, не враховуючи жорсткі передумови вивчення конкретних дисциплін та попередній досвід користувача [1]. Існує проблема «семантичного розриву» між ринковою термінологією (запити користувачів) та академічною номенклатурою. Імовірнісні моделі не можуть гарантувати верифікованість та істину знань на відмінність від формалізованих (наприклад, онтологій). Об'єкт дослідження. Процес автоматизованого проектування персоналізованих освітніх планів у сфері інформаційних технологій. Предмет дослідження. Методи семантичного аналізу запитів природною мовою та алгоритми обходу графів передумов на основі онтологічних моделей знань [2, 3, 4]. Мета роботи – розробка концепції та архітектури інтелектуальної системи, яка на основі неформалізованого запиту користувача автоматично формує впорядкований навчальний план [4]. Основні завдання та етапи реалізації:

1) семантичний аналіз запиту та інтерфейс перекладу. Цей етап виконує роль «вхідних воріт», де неструктурований текст трансформується у дані для онтологічного резонатора. Використання трансформерів (BERT, RoBERTa) дозволяє реалізувати роль «перекладача» з простору природної мови у простір концептів онтології. Процес включає токенізацію, лематизацію та виявлення іменованих сутностей. Для оцінки близькості між запитом та описом дисциплін використовуються методи векторного представлення слів [3]. На відміну від регулярних виразів, трансформер обробляє контекстуальні синоніми та сленг, забезпечуючи стійкість інтерфейсу. Результатом є генерація логічного запиту (SPARQL/DL Query);

2) побудова онтологічної моделі знань. Створення ієрархічного дерева дисциплін з явно визначеними семантичними зв'язками типу «батько-нащадок» [2, 4]. Кожна дисципліна в онтології має набір атрибутів (компетенції, пререквізити). Важливо, що система не «вигадує» знання, а лише маршрутизує користувача до верифікованих академічних стандартів, закладених в базу знань, що гарантує достовірність сформованого плану;

3) алгоритмічне забезпечення. Формування плану базується на представленні онтології як орієнтованого ациклічного графа. За допомогою рекурсивних алгоритмів обходу у глибину система виявляє повну множину пререквізитів від цільової

компетенції до базових дисциплін. Для побудови лінійної послідовності вивчення використовується топологічне сортування [5], що гарантує дотримання логіки «від простого до складного» та виключає суперечності у навчальній траєкторії;

4) адаптація. Етап забезпечує персоналізацію шляхом зіставлення компетентнісного профілю користувача із побудованим графом знань. Модулі, що відповідають підтверджену досвіду, маркуються як «засвоєні» та вилучаються з активної траєкторії навчання за допомогою алгоритмів фільтрації вузлів [1]. Система виконує верифікацію: у разі виявлення розривів між заявленими знаннями та необхідними пререквізитами, вона пропонує адаптаційні блоки.

У той час як більшість сучасних рішень покладаються виключно на генеративний ШІ, запропонований гібридний підхід реалізує концепцію Explainable AI. Система не просто генерує список, а обґрунтовує траєкторію через семантичні зв'язки графа знань [5]. Поєднання гнучкості трансформерів зі строгістю онтологічного моделювання є кроком до створення надійних освітніх систем. Тестування на підтвердило високу точність семантичного зіставлення (Top-3 Accuracy), що доводить перевагу підходу в умовах волатильності IT-термінології.

Висновки. Залишається відкритим питання підтримки актуальності онтології при появі нових технологій. Також при занадто широких запитах (наприклад, «хочу в IT») необхідно передбачити механізм уточнюючих запитань для обробки неоднозначності.

### Список літератури

1. Антонюк А. С., Нітченко О. В. Використання онтологічного підходу для формування індивідуальних траєкторій навчання в інформаційних системах. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2021. № 2(88). С. 112–119.
2. Gruber T. R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5, No. 2. P. 199–220.
3. Шаховська Н. Б., Литвин В. В. Інтелектуальні системи : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 488 с.
4. Глибовець М. М., Гороховський О. С. Онтологічне моделювання знань у інтелектуальних навчальних системах. Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. 2018. Т. 1. С. 34–41.
5. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Pearson, 2020. 1166 p.

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ КРИТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ**

Функціонування логістичних систем України в умовах воєнного стану характеризується переходом від класичної оптимізації «витрати–час» до стратегії «стійкість–виживання». Класичні детерміновані моделі є неспроможними через низку критичних факторів – динамічна деструкція інфраструктури (руйнування мостів, доріг) вимагає перерахунку маршрутів у режимі реального часу; недетерміновані затримки на митних пунктах та КПП створюють «шум» у графіках [1]. Дефіцит енергопостачання та нестабільний зв'язок розривають інформаційні ланцюги, що потребує впровадження автономних підсистем, здатних до локального прийняття рішень. Обмеження руху в нічний час (комендантська година, КГ) вводить жорстку рамку у вікно планування, що зумовлює потребу в алгоритмах інтеграції безпечних локацій для відстою (Safe Hubs).

Досліджуване середовище визначається як агресивне та важкопередбачуване. Особливу увагу приділено імпорту товарів критичної необхідності, де порушення температурного режиму через затримки призводить до повної втрати вантажу. Юридичний аспект ускладнюється специфікою роботи водіїв у межах дозволеного комендантського часу та необхідністю суворого дотримання протоколів безпеки [2].

Мета роботи – розробка інтелектуальної системи адаптивного управління логістикою на базі методів машинного навчання та агентних технологій для забезпечення безперервного постачання в умовах високої волатильності середовища.

У роботі запропоновано гібридний підхід – поєднання автоматизованих алгоритмів із ручним підтвердженням від стейкгольдерів через мобільні додатки. Концепція Edge Computing (обчислення на пристрої водія), де копія графа доріг та алгоритм оптимізації працюють локально, забезпечує живучість системи у разі відсутності зв'язку, що є перевагою над хмарними архітектурами [3].

Математична модель та критерії оптимізації.

1. Інтеграція соціального вектора. Традиційна цільова функція доповнюється показником соціальної значущості вантажу ( $SV$ ). Це дозволяє системі надавати пріоритет медикаментам та продуктам навіть за умови зростання витрат. Цільова функція набуває вигляду:  $Z = \alpha \cdot C(x) + \beta \cdot T(x) - \gamma \cdot SV(x) \rightarrow \min$ , де  $C(x)$  — функція сукупних витрат (з урахуванням ризиків);  $T(x)$  — часові затрати з урахуванням дискретних обмежень (комендантська година, черги);  $SV(x)$  — показник соціальної цінності вантажу;  $\alpha, \beta, \gamma$  — вагові коефіцієнти пріоритетності, що не є

константами. Це дозволяє системі надавати пріоритет доставці товарів критичної необхідності (медикаменти, продукти харчування, енергетичне обладнання) навіть за умови зростання логістичних витрат. Цільова функція багатокритеріальної оптимізації набуває вигляду. Вони мають бути динамічними, наприклад, у випадку наближення часу до комендантської години вага часового фактора  $\beta$  повинна експоненціально зростати.

2. Динамічне перепланування та автономні агенти. Пріоритизація дозволяє вирішувати конфлікти доступу до обмежених ресурсів (черги на КПП). Використання інтелектуальних агентів (ИА) реалізує механізм «гуманітарного пріоритету». Агент-вантаж з високим  $SV$  ініціює запит на спеціальний супровід або бронювання місця в безпечному хабі до початку КГ.

3. Алгоритм Safe Stop Selection. Для дотримання режиму руху впроваджено предиктивний пошук зупинок. Умова успішності сегменту рейсу:

$$T_{drive}(P_{curr}, N_i) + \Delta T_{safety} \leq T_{curf} - T_{now},$$

де  $T_{drive}(P_{curr}, N_i)$  — прогностичний час руху від поточної позиції до вузла  $N_i$ ;  $\Delta T_{safety}$  - часовий буфер ризику на непередбачувані затримки;  $T_{curf} - T_{now}$  - час до початку обмеження руху [4].

4. Архітектурна реалізація. Мультиагентна система будується на принципах децентралізації. Агент-Вантаж взаємодіє з Агентом-Інфраструктурою (пункти перетину, хаби) та Агентом-Моніторингу (дані про обстріли, стан доріг). У разі втрати зв'язку з центральним сервером, локальний агент на пристрої водія (Edge node) переходить у режим автономної навігації.

Впровадження системи дозволяє мінімізувати ризики втрати вантажів завдяки предиктивному моделюванню затримок та забезпечити безперервність управління за умов Blackout-факторів. Експериментальне моделювання підтвердило зниження імовірності порушення комендантського режиму на 30-35% при збереженні пріоритетності критичних поставок.

**Список літератури**

1. Ivanov D. Resilience of supply chains in conflict zones: dynamic rerouting strategies // International Journal of Production Research. – 2023. – Vol. 61. – P. 124–138.
2. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII (зі змінами).
3. Shi W., Cao J. Edge Computing: Vision and Challenges // IEEE Internet of Things Journal. – 2022. – Vol. 3, No. 5. – P. 637–646.
4. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. – 2nd Edition. – John Wiley & Sons, 2021. – 484 p.

## СИСТЕМА ГЕЙМІФІКОВАНОЇ ЛОЯЛЬНОСТІ ДЛЯ СУПЕРМАРКЕТІВ НА ОСНОВІ АІ-ОБРОБКИ ЧЕКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРНОГО ПОШУКУ

Проблема надмірних витрат покупців і необхідність вести облік своїх коштів призвела до розробки значної кількості застосунків для відслідковування касових чеків. Однак на сьогодні вони все ще не надають користувачам достатніх інструментів для того, щоб ефективно вести такий облік. Доцільно розробити модуль для програми ведення фінансового обліку, який дозволить на основі фотографії касового чеку надавати користувачу інформацію про промо-акції через простий процес сканування чека [1].

Останнім часом набули розвитку методи оптичного розпізнавання тексту чеків з подальшою інтелектуальною корекцією помилок розпізнавання.

Оптичне розпізнавання символів (OCR) – це електронне перетворення набраних, рукописних або надрукованих текстових зображень у машинно-закодований текст. Завдяки технологіям OCR паперові документи на різних мовах та в різних форматах можуть бути оцифровані в машино-оброблюваний текст, що не тільки полегшує зберігання, але й надає доступ до раніше недоступних даних користувачу за декілька натискань клавіші миші [2].

Такі зображення та документи можна сканувати як документ, фотографію документа чи фотографії оточення (наприклад, текст на касових чеках).

Головним викликом технологій OCR є вирішення проблеми, яка полягає у тому, що існують різні шрифти та способи написання одного і того ж символу. Окрім того, перш ніж вибрати алгоритм OCR, зображення має бути попередньо оброблене, щоб воно було готовим до читання. Програмне забезпечення OCR має виконувати самостійно цей етап, щоб збільшити шанси на розпізнавання.

В доповіді розглядаються питання розроблення інтелектуальної системи обробки касових чеків з використанням технологій машинного навчання, оптичного розпізнавання тексту та векторного пошуку для автоматизації промо-кампаній у продуктових мережах. Запропонована система дозволяє покупцям отримувати миттєві винагороди за участь у промо-акціях через простий процес сканування чека у мобільному додатку, при цьому виробники брендів отримують цінну аналітику про поведінку споживачів, географію продажів та ефективність маркетингових кампаній в режимі реального часу.

Технічна архітектура системи базується на хмарній платформі Google Cloud Platform та включає кілька ключових компонентів для забезпечення надійної та масштабованої обробки даних. Процес починається з того, що покупець фотографує касовий чек через мобільний додаток та завантажує зображення на сервер, де застосовується Google Vision API для оптичного розпізнавання тексту з подальшою інтелектуальною корекцією помилок розпізнавання за допомогою великих мовних моделей Gemini API. Після отримання структурованих даних про назви товарів, їх кількість та вартість система використовує Vertex AI Vector Search для векторизації назв продуктів та їх порівняння з онлайн-каталогом промо-товарів, що дозволяє ефективно знаходити збіги навіть при наявності орфографічних помилок або варіативності написання назв. Далі відбувається валідація умов промо-акції через перевірку відповідності торговельної мережі, дати покупки, мінімальної суми чека та кількості товару, а також здійснюється перевірка на можливе шахрайство через виявлення повторного використання чеків або підозрілих патернів поведінки користувачів.

Для зберігання та обробки великих обсягів даних система використовує Cloud Storage для зберігання оригінальних зображень чеків, Firestore для оперативних даних про користувачів та поточні промо-кампанії, BigQuery для аналітичних запитів та формування звітності. Аналітичний модуль на базі Looker Studio надає торговельним мережам та виробникам детальні дашборди з візуалізацією ключових метрик ефективності промо-кампаній, включаючи кількість учасників, географічний розподіл продажів, демографічні характеристики покупців, популярні комбінації товарів у кошику та розрахунок рентабельності інвестицій у маркетинг.

Тестування запропонованої інтелектуальної системи обробки касових чеків з використанням технологій машинного навчання та оптичного розпізнавання тексту підтвердило її працездатність.

### Список літератури

1. ABBYY FineReader Engine. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.abbyy.com/ocr-sdk/>.
2. Building Custom Deep Learning Based OCR models. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nanonets.com/blog/attention-ocr-for-text-recognition/>

## СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ЗНАТЬ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Під час розробки системи тестування важливо обрати інструмент, який не лише забезпечує функціональні можливості контролю знань, але й відповідає вимогам інтеграції, зручності використання та масштабованості. Сучасні освітні процеси дедалі активніше переходять у цифрове середовище. Однією з найпоширеніших систем дистанційного навчання є Moodle, яка широко використовується у закладах вищої освіти для організації навчання, контролю та оцінювання знань студентів.

В умовах переходу до дистанційного навчання з початку пандемії, а потім війни з росією, засоби сайту персональних навчальних систем (ПНС) ХНЕУ ім. С. Кузнеця стали незамінними для проведення занять та оцінювання знань студентів [1]. Важливе місце в Moodle займає модуль тестування, що дозволяє автоматизувати перевірку результатів навчання.

Разом із перевагами система тестування Moodle має низку обмежень, які впливають на об'єктивність оцінювання, зручність використання та педагогічну ефективність.

Модуль тестування Moodle підтримує різні типи запитань: з вибором відповіді, на відповідність, числові, коротку відповідь, есе тощо. Система дозволяє формувати банки питань, встановлювати обмеження часу, кількість спроб, випадкову вибірку та автоматичне оцінювання. Попри функціональність, практичне використання показує, що стандартні можливості Moodle не завжди забезпечують якісний контроль знань, особливо за масового та дистанційного навчання.

Moodle не підтримує повноцінне адаптивне тестування. У стандартному Moodle відсутні вбудовані інструменти прокторингу та інтелектуального аналізу поведінки користувача [2]. Більшість тестів орієнтовані на вибір правильної відповіді, а не на перевірку аналітичного мислення. Це сприяє механічному запам'ятовуванню, а не глибокому розумінню навчального матеріалу.

Розробка якісного банку тестових завдань вимагає значних часових і методичних витрат. Без належної підготовки викладача тести можуть бути невалідними або одноманітними.

Стандартний Moodle майже не використовує можливості штучного інтелекту для автоматичного аналізу відповідей, адаптації тестів чи виявлення підозрілої активності. Залучення штучного інтелекту дозволить зробити систему більш персоналізованою, об'єктивною та надійною.

Подальший розвиток систем тестування має

грунтуватися на впровадженні інтелектуальних технологій, персоналізованих підходів та автоматизованого аналізу навчальної діяльності, що сприятиме підвищенню якості освітнього процесу.

Під час розробки системи тестування важливо обрати інструмент, який не лише забезпечує функціональні можливості контролю знань, але й відповідає вимогам інтеграції, зручності використання та масштабованості. Для реалізації тестового модуля пропонується обрати плагін WP Pro Quiz, що функціонує в середовищі WordPress. Доцільність такого вибору підтверджується порівнянням із поширеною системою дистанційного навчання Moodle.

Система тестування Moodle орієнтована на повноцінне дистанційне навчання, тоді як WP Pro Quiz більш гнучкий у контексті веб-застосунків і інтерактивних сервісів. Moodle вимагає більш складного інтерфейсу керування, що може ускладнювати роботу викладачів-початківців.

WP Pro Quiz дозволяє гнучко керувати тестами: задавати випадкову вибірку питань, часові ліміти, систему балів, кількість спроб та миттєвий зворотний зв'язок. Завдяки відкритості WordPress-платформи з'являється можливість подальшого розширення функціоналу, зокрема інтеграції модулів аналітики, персоналізації та штучного інтелекту. Крім того, WP Pro Quiz краще підходить для інтеграції з мультимедійними веб-системами, де тестування є частиною загального інформаційного ресурсу, а не окремою LMS-платформою, як у випадку Moodle.

Таким чином, порівняльний аналіз показує, що хоча Moodle є потужним середовищем дистанційного навчання, використання WP Pro Quiz є більш доцільним для створення гнучкої, легко інтегрованої та розширюваної веб-системи тестування. Це забезпечує простоту впровадження, зручність користування та перспективи подальшого інтелектуального розвитку системи та робить його ефективним інструментом для створення сучасних веб-орієнтованих систем контролю знань.

### Список літератури

1. Використання засобів ПНС для проведення підсумкового контролю знань студентів - Кузня. Кузня контенту. URL: [https://content.hneu.edu.ua/s/V8\\_yMSkMU](https://content.hneu.edu.ua/s/V8_yMSkMU)
2. Moodle Proctoring || Can Moodle Detect Cheating in Exams?. Beyond Key. URL: <https://www.beyondkey.com/>

## ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ ОСНОВАМ РОБОТИ З BIG DATA

Технології Big Data стають одним із ключових напрямів розвитку сучасної цифрової економіки, науки та освіти. Обробка великих обсягів даних є необхідною для прийняття обґрунтованих рішень, підприємницької аналітики, наукових досліджень та розвитку інновацій. В даний час використання великих даних в освітньому процесі вищих навчальних закладів стає більш актуальним. Тому у підготовці фахівців IT-сфери важливим завданням є формування вмій працювати з інструментами Big Data. Вибір відповідного програмного забезпечення (ПЗ) для навчального процесу визначає ефективність засвоєння теоретичних знань і практичних навичок.

Існує багато програмних продуктів, які допомагають реалізувати повний спектр аналітичних ініціатив з урахуванням даних — від звітності у час до додатків машинного навчання. Крім того, існує безліч інструментів великих даних з відкритим вихідним кодом, деякі з яких також пропонуються у комерційних версіях або як частина платформ великих даних та керованих послуг.

До ключових критеріїв добору ПЗ для навчання Big Data належать: доступність та безкоштовність; простота встановлення та використання — можливість роботи у локальному та навчальному режимах; функціональна повнота — підтримка зберігання, обробки, аналізу та візуалізації даних; масштабованість — перехід від навчальних задач до промислових сценаріїв; наявність документації та спільноти підтримки — доступ до навчальних матеріалів, прикладів і форумів.

Apache Hadoop є класичною платформою для розподіленого зберігання даних (HDFS) та обробки за принципом MapReduce. Переваги: висока надійність, відповідність промисловим стандартам, можливість роботи в кластері та локально. Недоліки: порівняно складний поріг входження, необхідність попередньої конфігурації [1].

Apache Spark — високопродуктивна система обробки даних у пам'яті. Підтримує модулі машинного навчання, потокову обробку та SQL-аналітику. Переваги: швидкодія, широкий спектр бібліотек, сучасна архітектура. Недоліки: потребує базових знань програмування.

Jupyter Notebook — зручне інтерактивне середовище для навчання аналізу даних з використанням Python. Переваги: простота,

наочність, інтеграція з Pandas, NumPy, Matplotlib. Роль: початковий етап навчання роботи з даними.

Google Colab — онлайн-платформа, що дозволяє працювати з великими наборами даних без інсталяції локального ПЗ. Переваги: доступність, підтримка хмарних ресурсів, зручність дистанційного навчання.

NoSQL-системи (MongoDB, Cassandra) дають змогу ознайомити студентів з нереляційними моделями даних. Переваги: гнучкість, актуальність для сучасних застосувань [2].

Рекомендована навчальна модель може мати наступний вигляд.

1. Початковий етап: Jupyter Notebook / Google Colab — бази аналізу даних, обробка наборів.

2. Середній етап: Hadoop — вивчення архітектури та MapReduce.

3. Поглиблений етап: Spark — потокова обробка, машинне навчання, аналітика.

4. Прикладний етап: NoSQL + інструменти візуалізації — практичні кейси.

Висновки. Вибір програмного забезпечення для навчання Big Data має базуватися на поєднанні доступності, функціональності та відповідності освітнім цілям. Комплексне використання Jupyter Notebook, Hadoop, Spark, NoSQL та засобів візуалізації дозволяє побудувати ефективну систему підготовки студентів, сформувати як теоретичні знання, так і практичні компетентності, необхідні для роботи з великими даними. Комплексний підхід до вибору ПЗ забезпечить студентам якісну підготовку та сформує практичні навички, востребовані на ринку праці.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку методичних рекомендацій щодо впровадження Big Data у навчальні програми, створення лабораторних комплексів та оцінювання ефективності різних освітніх інструментів.

### Список літератури

- White T. Hadoop: The Definitive Guide. — 4th ed. — O'Reilly Media, 2015. — 808 p. URL: [https://github.com/Farheen2302/hadoop-project/blob/master/hadoop\\_reading/Hadoop%20The%20Definitive%20Guide%2C%204th%20Edition.pdf](https://github.com/Farheen2302/hadoop-project/blob/master/hadoop_reading/Hadoop%20The%20Definitive%20Guide%2C%204th%20Edition.pdf)
- MongoDB Documentation. MongoDB Manual. — URL: <https://www.mongodb.com/docs>

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА TEAMFINDER ДЛЯ ГІБРИДНИХ СЕРВІСІВ**

Сучасні цифрові сервіси мають суттєвий недолік: вони або вузькоспеціалізовані на професійних завданнях (TaskRabbit), або орієнтовані виключно на масові події (Meetup), що не забезпечує гнучкості для разових побутових чи соціальних запитів. В умовах воєнної нестабільності та критичного дефіциту кадрів в Україні виникає потреба у створенні «простору довіри», який інтегрує функції пошуку фахівців із механізмами соціальної взаємодії та AI-підтримки [1]. Об'єкт дослідження – процеси пошуку виконавців для надання послуг та координації неформальних соціальних груп. Предмет дослідження – моделі інтелектуальної декомпозиції запитів та алгоритми адаптивного планування в умовах обмеженого людського ресурсу. Мета роботи – проектування та розробка гібридної системи TeamFinder, що поєднує функціонал фріланс-платформи та соціальної мережі на основі NLP та AI.

Основні завдання та інноваційні рішення.

1. Інтелектуальна декомпозиція (Smart Decomposition). Процес інтелектуального аналізу складного запиту користувача можна представити як відображення  $f: Q \rightarrow G$ , де  $Q$  — запит природною мовою, а  $G$  — орієнтований ациклічний граф (DAG) завдань. Нехай складний запит  $T$  (наприклад, «Ремонт ванної») є кореневим вузлом ієрархії. Процес декомпозиції розбиває  $T$  на множину атомарних підзавдань  $T = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , де  $s_i$  — конкретна послуга (демонтаж, сантехніка, плитка), що відповідає певній категорії в базі даних системи. Оскільки виконання робіт має часову та логічну послідовність, ми будемо граф  $G = (V, E)$ , де  $V$  — множина вершин (підзавдань  $s_i$ ).  $E$  — множина ребер, що визначають відношення передування  $s_i < s_j$  (наприклад, укладання плитки не може розпочатися до завершення сантехнічних робіт). Замість лінійного пошуку система використовує AI для аналізу складних запитів. Математичну логіку процесу доцільно представити через апарат теорії графів та ієрархічних мереж завдань (HTN) [2]. Наприклад, запит «Ремонт у ванній» автоматично структурується в ієрархічний граф: Демонтаж < Сантехніка < Плитка. Користувач отримує можливість або самостійно підбирати виконавців на кожну ланку, або залучити роль «Виконроба» — універсального менеджера середини системи для координації всієї команди. Це дозволяє системі пропонувати дві стратегії — децентралізована (незалежний пошук виконавців  $E_i$  для кожного  $s_i$ ) та централізована («Виконроб», вибір координатора  $M$  для управління всім графом  $G$ ) [3].

2. Регіональна адаптація та динамічне мапування. Система аналізує щільність доступних

фахівців у конкретній локації (наприклад, Харків). У разі виявлення критичного дефіциту спеціалістів, AI превентивно попереджає та пропонує альтернативні локальні ресурси (магазини, волонтерські хаби, тощо).

3. Двохстадійний алгоритм обслуговування (Path A/B). Процес взаємодії розгалужується залежно від предикату наявності ресурсу  $R(s_i) \in \{0,1\}$ .

Шлях  $A$  ( $R=1$ , виконавець знайдений) — стандартний цикл (Договір  $\rightarrow$  Виконання  $\rightarrow$  Відгук).

Шлях  $B$  ( $R=0$ , ресурс відсутній) — активація режиму Smart Assistant (DIY Mode) [4]. У цьому випадку система не просто видає помилку, а трансформується у базу знань, надаючи AI-консультації та інструкції для самостійного вирішення проблеми на основі принципів інтелектуальних агентів. Це забезпечує виняткову живучість (robustness) сервісу.

4. Семантичний NLP-аналіз. Для категоризації запитів використовується простір векторних представлень [5]. Використання Sentence-BERT для семантичного аналізу відповідає світовим стандартам у галузі NLP та забезпечує високу точність класифікації навіть для складних семантичних конструкцій. AI-модель обчислює косинусну близькість між вектором запиту  $v_q$  та еталонними категоріями  $v_{cat}$ :

$$\text{similarity} = \cos(\theta) = \frac{v_q \cdot v_{cat}}{\|v_q\| \|v_{cat}\|}$$

Проект базується на UML-моделюванні та впровадженні Smart-контрактів. Створено алгоритмічне забезпечення, що забезпечує стійкість сервісної екосистеми, навіть за повної відсутності фахівців у регіоні, користувач отримує інтелектуальну підтримку в режимі «самопоміги», що робить TeamFinder адаптивною експертною системою.

**Список літератури**

1. Parker, G. G., Van Alstyne, M. W., & Choudary, S. P. (2016). Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy. W. W. Norton & Company.
2. Nau, D., Au, T. C., Ighami, O., & Kuter, U. (2003). SHOP2: An HTN Planning System. Journal of Artificial Intelligence Research, 20, 379-404.
3. Kerzner, H. (2017). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (12th ed.). Wiley.
4. Russell, S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson.
5. 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.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА ОСВІТНІХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Цифровізація освіти супроводжується стрімким зростанням обсягів даних, що формуються в процесі навчальної діяльності. До них належать результати оцінювання, показники відвідуваності, активність у системах дистанційного навчання, дані про виконання завдань, взаємодію здобувачів освіти з цифровими платформами та інші характеристики освітнього процесу. За таких умов зростає потреба в сучасних підходах до аналізу інформації, які дають змогу не лише фіксувати стан освітнього середовища, а й виявляти приховані закономірності, прогнозувати результати та підтримувати прийняття управлінських і педагогічних рішень. Як засвідчують сучасні дослідження, штучний інтелект дедалі активніше інтегрується в освітнє середовище, охоплюючи адаптивне навчання, інтелектуальне оцінювання, навчальну аналітику та прогнозування успішності.

Традиційні підходи до аналізу освітніх показників переважно ґрунтуються на описовій статистиці, експертних оцінках і ретроспективному аналізі. Однак вони не завжди забезпечують своєчасне виявлення ризиків академічної неуспішності, недостатньо враховують поведінкові патерни здобувачів освіти та обмежено підтримують прийняття рішень у реальному часі. На відміну від них, інтелектуальна обробка освітніх даних передбачає використання методів машинного навчання, класифікації, сегментації, виявлення аномалій та прогнозування для глибшого розуміння навчальної динаміки. Такий підхід створює передумови для переходу від констатації результатів до випереджального управління освітнім процесом [1], [2].

У системах підтримки прийняття рішень інтелектуальна обробка освітніх даних може застосовуватися за кількома ключовими напрямками. По-перше, вона дає змогу прогнозувати результати навчання та виявляти здобувачів освіти, які належать до групи ризику. По-друге, результати аналізу можуть використовуватися для персоналізації навчальних траєкторій, адаптації змісту й темпу навчання до індивідуальних потреб. По-третє, адміністрація закладів освіти може використовувати такі системи для моніторингу якості освітнього процесу, оцінювання ефективності освітніх компонентів, удосконалення розподілу ресурсів і підвищення обґрунтованості організаційних рішень. Для викладача це означає можливість оперативно отримувати інформацію про

успішність, активність і труднощі конкретних студентів, а для здобувача освіти — отримувати більш індивідуалізовані рекомендації щодо подальшого навчання.

Водночас результативність таких систем визначається не лише можливостями алгоритмів, а й якістю організації роботи з даними. Неповні або некоректні дані можуть знижувати точність прогнозів і спотворювати рекомендації. Крім того, важливого значення набувають питання прозорості моделей, інтерпретації результатів, забезпечення конфіденційності та дотримання етичних принципів використання освітньої аналітики. Сучасні огляди підкреслюють потребу в людині центричному підході до розроблення таких систем, який передбачає врахування інтересів основних учасників освітнього процесу, баланс між автоматизацією та людським контролем, а також увагу до безпеки, надійності й довіри до аналітичних рішень [2].

Отже, інтелектуальна обробка освітніх даних є перспективною основою для розвитку сучасних систем підтримки прийняття рішень у сфері освіти. Її застосування сприяє підвищенню точності аналітичних оцінок, своєчасному виявленню навчальних проблем, персоналізації освітнього процесу та покращенню управління освітнім середовищем. У перспективі такі підходи можуть стати важливим інструментом підвищення якості освіти в умовах цифрового суспільства [1], [3].

### Список літератури

1. Коломієць А. М., Кушнір О. І. Використання штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності: можливості та виклики, Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми, 2023, Вип. 70. С. 45–57. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/5567>
2. Болюбаш Н. М. Learning Analytics у закладах вищої освіти: сутність та проблеми впровадження, Інноваційна педагогіка, 2021, Вип. 32, Т. 2. С. 157–165. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/>
3. Wang S., Wang F., Zhu Z., Wang J., Tran T., Du Z. Artificial intelligence in education: A systematic literature review, Expert Systems with Applications, 2024, Vol. 252, Art. 124167. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417424010339>

**МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ТИПІВ ЛІКАРСЬКИХ ВЗАЄМОДІЙ**

З розвитком та поширенням нейромережкових технологій з'явилася можливість підвищення якості прогнозів в системах медичних досліджень.

Понад 40% пацієнтів старше 65 років приймають п'ять і більше препаратів одночасно [1], що спричиняє непередбачувані взаємодії: підвищення токсичності, зниження ефективності або розвиток побічних реакцій [2]. Повне лабораторне тестування неможливе, адже для 14 000 препаратів DrugBank простір пар перевищує 98 млн, а задокументовано лише 1,4 млн [6]. Існуючі SOTA-моделі (TIGER [3], KnowDDI [4]) оцінюються у «теплому» режимі на 86 класах DDI, що завищує реальну якість [5]. У цій роботі розглядається задача дослідження 180 унікальних ефектів в умовах строгого cold-start. База DrugBank 6.0 [6] містить 17 430 препаратів і 1,4 млн взаємодій. Розподіл ефектів за частотою наведено в табл. 1. Три найчастіші РК-ефекти складають 51,3% вибірки, понад 80 ефектів зустрічаються рідше 0,1%. Використовується drug-wise розбиття 60/20/20; тестова вибірка – 29 479 взаємодій між невідомими моделі препаратами.

Таблиця 1 – Розподіл ефектів лікарських взаємодій за частотою

Ефект	Частка
concentration (PK)	22,4%
excretion (PK)	15,0%
metabolism (PK)	13,9%
cns_depression (PD)	9,2%
efficacy (PD)	7,5%
Решта 175 ефектів	32,0%

Три найчастіші ефекти відносяться до «concentration», «excretion» та «metabolism». Кожен препарат кодується трьома модальностями: молекулярний граф (GIN, 3 шари), ESM-2 ембединги білків-мішеней (attention pooling) та молекулярні властивості (MLP). Пара кодується симетрично через конкатенацію поелементних суми, добутку та різниці. Навчання – focal loss ( $\gamma = 2$ ). Каскадна архітектура розбиває задачу на рівні: PK vs. non-PK → підкласи. Результати трьох серій експериментів наведено в табл. 2. Незадовільність плоскої класифікації зумовлена екстремальним дисбалансом класів, недостатністю молекулярного сигналу для тонкозернистого розрізнення та принципово різною природою PK і PD взаємодій. Каскадний підхід (exp003) досягає F1-macro = 72,9% — на 24,6 п.п. вище плоского, в умовах, складніших за TIGER і KnowDDI.

Таблиця 2 – Порівняння результатів моделей

Модель	Параметри	System Acc	Effect Acc	F1-macro
exp001 (теплий): пряма класифікація	1,6М	49,1%	26,2%	—
exp002 (холодний): GAT (рання зупинка, еп. 12)	6,8М	45,9%	—	—
exp003 (холодний): каскад, рівень 1 (PK/non-PK)	~2М	—	—	72,9%
TIGER (теплий, 86 кл.)	—	—	>90%	~0,92 AUPR
KnowDDI (теплий, 86 кл.)	—	—	>88%	~0,89

**Висновки.** Пряма нейромережева класифікація 172 ефектів DDI в cold-start режимі нежиттєздатна. Каскадна декомпозиція PK/non-PK та мультимодальна інтеграція GIN + ESM-2 + молекулярні властивості забезпечують F1-macro = 72,9%.

**Список літератури**

- Masnoon N., Shakib S., Kalisch-Ellett L., Caughey G. E. What is polypharmacy? A systematic review of definitions. BMC Geriatrics. 2017. Vol. 17. Art. 230.
- Lee J., Jeong H. E., Rhee C. K., Shin J. Y. Polypharmacy, hospitalization, and mortality risk: a nationwide cohort study. Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Art. 18964.
- Su X., Hu L., You Z., Hu P., Chen Z. Dual-channel learning framework for drug-drug interaction prediction via relation-aware heterogeneous graph transformer. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2024. Vol. 38. P. 249–256.
- Wang Y., Yang Z., Yao Q. Accurate and interpretable drug-drug interaction prediction via knowledge subgraph learning. Communications Medicine. 2024. Vol. 4. Art. 59.
- Ryu J. Y., Kim H. U., Lee S. Y. Deep learning improves prediction of drug–drug interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115, No. 18. P. E4304–E4311.
- Knox C., Wilson M., Klinger C. M., Franklin M., Oler E., Wilson A., Pon A., Cox J., Chin N. E., Strawbridge S. A., Garcia-Patino M., Kruger F., Sivakumaran A., Sanford S., Doshi R., Brooks B., Khetarpal D., Fatokun A., Bhatta D., Wishnie B. DrugBank 6.0: the DrugBank Knowledgebase for 2024. Nucleic Acids Research. 2024. Vol. 52, No. D1. P. D1265–D1275

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРАЕКТОРІЇ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У роботі [1] запропоновано методику формування траекторії польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виконання завдань розвідки та уточнення параметрів зони хімічного зараження місцевості як у випадку застосування одного апарата, так і при організації групового польоту. Оцінювання хімічної обстановки під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах здійснюється відповідно до чинної "Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті", згідно з якою прогнозована зона хімічного забруднення апроксимується у вигляді еліптичної області. Водночас суттєвим обмеженням зазначеного підходу є недостатня точність визначення параметрів зони зараження, а також неврахування динамічності та швидкоплинності змін метеорологічних умов, що призводить до зниження достовірності результатів оцінювання.

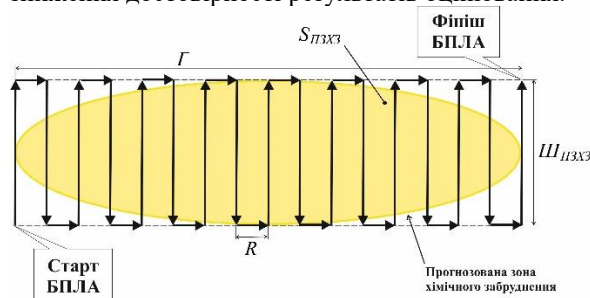


Рис. 1. Варіант формуванні траси польоту БПЛА при розвідці зони забруднення місцевості НХР

Перспективним напрямком подолання цих недоліків є використання БПЛА для проведення розвідки та уточнення параметрів зон зараження місцевості НХР. Очевидно, що головним критерієм ефективності використання БПЛА є час проведення розвідки. Час проведення розвідки визначається як характеристиками БПЛА, так і формуванням траси польоту БПЛА. При формуванні траси польоту БПЛА щодо розвідки зон забруднення місцевості необхідно дотримуватися наступних вимог: оператор БПЛА повинен повністю виконати польотне завдання щодо розвідки зон забруднення місцевості; БПЛА повинен знаходитися на дальності радіозв'язку із системою його керування та передачі інформації з борту літального апарату; при виконанні польоту на над малих висотах необхідно враховувати природний рельєф місцевості, висоти будівель,

наявність ліній електропередач. Можливий вигляд траси обльоту забрудненої території одним БПЛА показано на рис. 1, де  $R$  – радіус розвороту БПЛА.

При цьому слід враховувати як прогнозні дані щодо зон забруднення території НХР (одержані за допомогою Методики), так і можливості БПЛА, зокрема тривалість польоту та його швидкість. При формуванні траси польоту БПЛА зона забруднення апроксимується прямокутником зі сторонами  $G$  і  $Ш_{ПЗХЗ}$ . Радіус розвороту літального апарату  $R$  повинен дорівнювати радіусу дії приладів контролю. З врахуванням цього час одного циклу розвідки буде складати:

$$t_{роз.} = \frac{GR + GШ_{ПЗХЗ} + Ш_{ПЗХЗ}R}{RV}, \quad (1)$$

де  $V$  – середня швидкість польоту БПЛА.

Необхідна умова використання такої траси польоту БПЛА:

$$t_{роз.} < t_{польоту}, \quad (2)$$

де  $t_{польоту}$  – технічна тривалість польоту БПЛА у відповідності з ТТХ.

Таким чином, з метою розробки підходу щодо оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація, проаналізовано можливості теоретичного прогнозування зон зараження території НХР. В результаті встановлено, що основний недолік при використанні відповідних методик полягає в неточності визначення параметрів зони забруднення та неврахування швидкоплинності змін метеорологічних умов. Перспективним напрямком подолання цих недоліків є використання БПЛА для проведення розвідки та уточнення параметрів зон забруднення місцевості НХР. Головним критерієм ефективності використання БПЛА є час проведення розвідки, який визначається як характеристиками БПЛА, так і формуванням траси польоту БПЛА.

### Список літератури

1. Захарченко Ю В, Іванець Г.В., Іванець М.Г., Калугін В.Д., Тютюник В.В. Формування трас польоту безпілотних літальних апаратів під час оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталася надзвичайна екологічна ситуація. Техногенно-екологічна безпека. 2022. № 1(11). С. 23–33

## ЗАСТОСУВАННЯ СЦЕНАРНОГО КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У роботі [1] когнітивну модель подано у вигляді даних рис. 1 та орієнтованого зваженого графа  $G = \langle C, E, W \rangle$ , де  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  – множина концептів,  $E \subseteq C \times C$  – множина орієнтованих зв'язків між концептами,  $W = \{w_{ij}\}$  – множина ваг зв'язків,  $w_{ij} \in [-1; 1]$ .

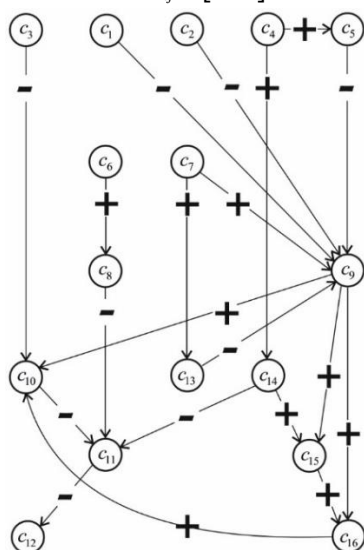


Рис. 1. Когнітивна модель сценарного впливу загроз на інформаційну безпеку об'єктів критичної інфраструктури в умовах запровадження правового режиму воєнного стану

З урахуванням специфіки функціонування об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) в умовах введення правового режиму воєнного стану множина концептів формується з чотирьох логічних груп.

Перша група – концепти-загрози (Driver-concepts):  $C_D = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ , де  $c_1$  – кібератаки на інформаційні системи ОКІ,  $c_2$  – фізичне ураження об'єктів інфраструктури,  $c_3$  – порушення телекомунікаційних каналів,  $c_4$  – інформаційно-психологічні впливи,  $c_5$  – інсайдерські загрози. Дані концепти є зовнішніми по відношенню до системи та ініціюють сценарії впливу.

Друга група – концепти умов воєнного стану (Ordinary-concepts):  $C_W = \{c_6, c_7, c_8, c_9\}$  де  $c_6$  – обмеженість ресурсів,  $c_7$  – централізація управління,  $c_8$  – дефіцит кваліфікованого

персоналу,  $c_9$  – підвищена інтенсивність зовнішніх загроз. Ці концепти виступають як підсилювачі або демпфери впливів.

Третя група – концепти інформаційної безпеки (Ordinary-concepts):  $C_{IB} = \{c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{13}\}$ , де  $c_{10}$  – конфіденційність інформації,  $c_{11}$  – цілісність інформації,  $c_{12}$  – доступність інформації,  $c_{13}$  – стійкість інформаційних систем.

Четверта група – концепти наслідків (Receiver-concepts):  $C_R = \{c_{14}, c_{15}, c_{16}\}$ , де  $c_{14}$  – порушення функціонування ОКІ,  $c_{15}$  – соціально-економічні збитки,  $c_{16}$  – зниження рівня національної безпеки.

Розроблена когнітивна модель дозволяє здійснювати сценарне моделювання розвитку ситуацій, оцінювати чутливість інформаційної безпеки (ІБ) до окремих загроз та обґрунтовувати пріоритетні напрями підвищення стійкості ОКІ в умовах введення правового режиму воєнного стану. Результати сценарного моделювання впливу загроз на ІБ ОКІ в умовах воєнного стану дозволяють виявити системні закономірності поширення негативних впливів, а також визначити ключові фактори, що формують стійкість або вразливість досліджуваної системи.

Так, порівняльний аналіз базового, кризового та катастрофічного сценаріїв показав, що зі зростанням інтенсивності загроз спостерігається нелінійний характер змін станів концептів. Навіть помірне підвищення активності driver-концептів за наявності несприятливих умов воєнного стану призводить до суттєвого зниження показників доступності та стійкості інформаційних систем. У кризовому сценарії зафіксовано ефект каскадного поширення впливів, коли первинні кібернетичні або фізичні загрози через систему опосередкованих зв'язків спричиняють порушення функціонування ОКІ. Це підтверджує доцільність врахування непрямих впливів у межах когнітивного підходу.

### Список літератури

1. Тютюник В.В., Тютюник О.О. Сценарне когнітивне моделювання впливу загроз на інформаційну безпеку об'єктів критичної інфраструктури в умовах запровадження правового режиму воєнного стану. *Комунальне господарство міст. Серія: Інформаційні технології та інженерія*. 2026. Т. 1. Вип. 196. С. 22–33.

Тютюник Вадим<sup>1</sup>, Тютюник Ольга<sup>1</sup>, Усачов Дмитро<sup>2</sup>  
 tutunik\_y@ukr.net olha.tiutiunyk@hneu.net, usachovrabortadsns21@gmail.com

<sup>1</sup>Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Черкаси

## СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ

У роботі [1] розроблено когнітивну модель функціонування об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) в умовах впливу різноманітних загроз, які на концептуальній схемі (рис. 1) представлені у вигляді зовнішніх впливів. Основні компоненти моделі згруповано у три змістовні блоки. Перший блок охоплює складові повсякденного функціонування, що відображають взаємозв'язки між рівнем фінансування, ресурсним забезпеченням, технічним станом обладнання, якістю продукції, а також чисельністю та кваліфікацією персоналу. Другий блок формують чинники зовнішніх і внутрішніх загроз, до яких віднесено фінансові, природні, техногенні, соціальні, інформаційні ризики, а також загрози, пов'язані із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і вогнепальної зброї, пожежні та інші дестабілізуючі фактори; при цьому враховується ступінь їх впливу на рівень нормального функціонування об'єкта. Третій блок характеризує наслідки реалізації загроз, що проявляються у вигляді соціальних, матеріальних та екологічних збитків.

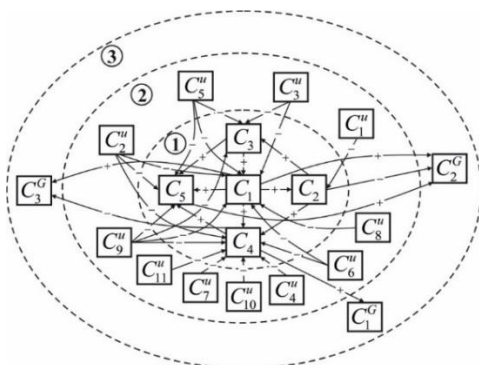


Рис. 1. Концептуальна схема дослідження методом НКК рівня захищеності ОКІ. Концепти об'єднані у три групи:

1 – складові повсякденного функціонування; 2 – складові зовнішніх та внутрішніх загроз; 3 – наслідки від небезпек

На основі проведеного опитування експертів було визначено пріоритетні концепти системи та ступінь впливу взаємозв'язків між ними в технологічному процесі. Цей процес ОКІ складається з наступних елементів: 1) концепт  $C_1$  – обладнання; 2) концепт  $C_2$  – фінансування; 3) концепт  $C_3$  – ресурси; 4) концепт  $C_4$  – персонал; 5) концепт  $C_5$  – продукція.

У результаті проведеного аналізу можливих загроз безпеки ОКІ було сформовано перелік зовнішніх та внутрішніх загроз:  $C_1^u$  – фінансові загрози;  $C_2^u$  – природні загрози;  $C_3^u$  – техногенні загрози;  $C_4^u$  – соціальні загрози;  $C_5^u$  – загрози застосування БПЛА;  $C_6^u$  – інформаційні загрози;  $C_7^u$  – не якісне виконання службових обов'язків;  $C_8^u$  – порушення режимів технологічного процесу;  $C_9^u$  – пожежні загрози;  $C_{10}^u$  – загрози виробничого травматизму;  $C_{11}^u$  – загрози застосування вогнепальної зброї. Крім того, в концептуальній схемі на рис. 1 наведено, що крім концептів  $C_i^u$  ще додані концепти  $C_i^G$ , що характеризують наслідки різного характеру, а саме:  $C_1^G$  – соціальні збитки;  $C_2^G$  – матеріальні збитки;  $C_3^G$  – екологічні збитки.

Проведено структурно-топологічний аналіз побудованої НКК та встановлено, що ця карта є адекватною для оцінки впливу зовнішніх та внутрішніх загроз. Для запропонованої когнітивної моделі визначено концепти, які мають найвищу структурну значимість. Зокрема, проаналізувавши значення складових побудованої НКК, визначено, що в умовах введення в державі правого режиму воєнного стану найвагомішими концептами досліджуваної системи загроз є загрози застосування БПЛА, пожежні загрози та загрози застосування вогнепальної зброї. Отримані результати мають прикладне значення для побудови адаптивних систем управління безпекою КІ на рівнях міст, регіонів та держави. Модель може бути інтегрована в існуючу єдину державну систему цивільного захисту, підвищуючи ефективність її функціональних та територіальних підсистем в режимах надзвичайного та воєнного станів.

### Список літератури

1. Тютюник В.В., Тютюник О.О., Усачов Д.В. Особливості застосування нечітких когнітивних карт для сценарного моделювання функціонування критичної інфраструктури в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2025. Вип. 3(54). С. 93–102

## РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МАГАЗИНУ З ПРОДАЖУ ЖІНОЧОГО ВЗУТТЯ

У сучасних умовах цифровізації веборієнтованої системи є ключовим інструментом розвитку електронної комерції. Особливого значення набуває якість дизайну інтерфейсу, оскільки саме він формує користувацький досвід та впливає на ефективність взаємодії з системою. Для онлайн-магазинів жіночого взуття візуальна складова є критично важливою, адже рішення про покупку значною мірою залежить від зручності перегляду товарів і привабливості інтерфейсу.

Метою роботи є дослідження методів розроблення вебсайту з акцентом на UI/UX дизайн, що сприяє підвищенню зручності використання та конверсії користувачів.

Процес розроблення системи передбачає застосування принципів user-centered design (UCD), які орієнтовані на потреби користувачів на всіх етапах створення продукту [3]. Важливим є забезпечення простоти та інтуїтивності інтерфейсу, що відповідає принципу мінімізації когнітивного навантаження [2]. Згідно з сучасними підходами, ефективний дизайн повинен бути непомітним для користувача, дозволяючи йому швидко досягати поставлених цілей [1]. Ітеративне дослідження ЦА - глибинні інтерв'ю, card sorting, usability-тестування дозволяє верифікувати дизайн рішення до їх реалізації та суттєво знизити ризик помилок.

Одним із ключових підходів є концепція атомарного дизайну, яка дозволяє створювати масштабовані та узгоджені інтерфейси

. Методологія структурує UI-елементи від найменших одиниць (атоми: кнопки, іконки, теги розмірів) через молекули (картка товару, поле пошуку) та організми (фільтр-панель, header) до шаблонів і повних сторінок. Це особливо актуально для інтернет-магазинів, де необхідно забезпечити єдність стилю та повторне використання компонентів. Компонентна архітектура (React, Vue.js) реалізує принципи атомарного дизайну на технологічному рівні: кожен компонент є самодостатнім і легко масштабованим [3].

Сучасні вебсистеми повинні враховувати мобільну орієнтацію (mobile-first), що передбачає адаптацію інтерфейсу під різні типи пристроїв. Принцип mobile-first вимагає переосмислення компоновання: thumb-zone СТА у нижній третині екрана, мінімальний tap-target 44×44 px (Apple HIG), оптимізовані зображення у форматі WebP та lazy loading. Важливим є проведення досліджень

користувачів та тестування інтерфейсу для виявлення проблемних аспектів взаємодії.

Евристичне оцінювання за 10 принципами Нільсена та think-aloud-тестування (n = 5 учасників) дозволяють виявити до 85% критичних UX-помилку ще до виходу продукту.

Особлива увага приділяється персоналізації користувацького досвіду, що дозволяє підвищити ефективність взаємодії з системою та задоволеність клієнтів. Рекомендаційні блоки («Схожі моделі», «З цим взуттям носять»), адаптивний контент головної сторінки та персоналізовані push-сповіщення базуються на аналізі поведінкових даних і сприяють зростанню середнього чека.

З боку розробки в основі сучасного інтернет-магазину слугує клієнт-серверна архітектура, де фронтенд (React або Vue.js) відповідає відображенню інтерфейсу, а бекенд надає дані через REST або GraphQL API.

Для управління контентом (каталог товарів, банери, акції) використовуйте headless CMS — систему, яка зберігає дані окремо від інтерфейсу та дозволяє оновлювати їх без участі розробника. Автоматизований CI/CD-пайплайн забезпечує безперервне розгортання змін: кожне оновлення коду автоматично проходить тестування та потрапляє на сервер, що мінімізує ризик помилок у продакшені та дозволяє швидко впроваджувати результати A/B-тестів дизайну [3].

Таким чином, розроблення веборієнтованої системи для магазину жіночого взуття повинно базуватися на поєднанні сучасних технологій, принципів UI/UX дизайну та орієнтації на користувача. Ключовими методами є: UCD-підхід із ітеративним тестуванням, атомарний дизайн для узгодженості та масштабованості компонентів.

### Список літератури

- 1 D. A. Norman, The Design of Everyday Things, rev. ed. New York: Basic Books, 2013. 368 p.  
URL:<https://dl.icdst.org/pdfs/files4/4bb8d08a9b309df7d86e62ec4056ceef.pdf>
- 2 S. Krug, Don't Make Me Think, Revisited, 3rd ed. New Riders / Pearson Education, 2014. 212 p.  
URL:[https://dn790002.ca.archive.org/0/items/SteveKrugDo ntMakeMeThink/Steve\\_Krug\\_Don%E2%80%99t\\_Make\\_M e\\_Think%2C.pdf](https://dn790002.ca.archive.org/0/items/SteveKrugDo ntMakeMeThink/Steve_Krug_Don%E2%80%99t_Make_M e_Think%2C.pdf)
- 3 J. Gothelf, J. Seiden, Lean UX: Designing Great Products with Agile Teams, 3rd ed. O'Reilly Media, 2021. 254 p.

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОСОБИ

Забезпечення безпеки життєдіяльності людини в умовах зростання кількості кризових та потенційно небезпечних ситуацій потребує впровадження сучасних інформаційних технологій, здатних своєчасно виявляти фактори ризику. Особливої актуальності набуває проблема оцінювання психологічного стану особи, який може суттєво впливати на прийняття рішень та поведінку в умовах невизначеності, стресу або зовнішнього впливу. Використання систем підтримки прийняття рішень, що базуються на інтелектуальному аналізі даних, дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання психоемоційного стану та своєчасно ідентифікувати передумови виникнення небезпечних ситуацій. У цьому контексті актуальним є дослідження особливостей застосування інформаційних технологій для формування ефективних рішень щодо попередження ризикованої поведінки людини.

Сучасні підходи до оцінювання психологічного стану особи базуються на використанні окремих психодіагностичних методик, експертних оцінок або аналізу поведінкових характеристик. Водночас такі підходи часто характеризуються суб'єктивністю, обмеженою точністю та складністю врахування динамічних змін стану людини. У зв'язку з цим актуальним є застосування систем підтримки прийняття рішень, що використовують інформаційні технології для комплексного аналізу різномірних даних та формування обґрунтованих управлінських рішень.

Метою роботи є дослідження особливостей застосування інформаційних технологій у системах підтримки прийняття рішень для оцінювання психологічного стану особи та попередження виникнення небезпечних ситуацій. Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання: аналіз сучасних методів оцінювання психоемоційного стану людини; дослідження підходів до обробки поведінкових, когнітивних і психофізіологічних даних; обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень; визначення критеріїв оцінювання рівня ризику; розроблення підходів до інтеграції інформаційних технологій у процес прийняття рішень.

У роботі [1] запропоновано підхід до побудови системи підтримки прийняття рішень, що базується на використанні сучасних інформаційних технологій обробки даних та інтелектуального аналізу. Оцінювання психологічного стану особи пропонується

здійснювати на основі комплексного врахування поведінкових, когнітивних і психофізіологічних показників, що можуть надходити з різних джерел, зокрема сенсорних систем, інформаційних платформ або результатів тестування. Для обробки інформації доцільним є застосування методів машинного навчання, нечіткої логіки та когнітивного моделювання, що дозволяє враховувати невизначеність, неповноту та суперечливість вхідних даних.

Запропонований підхід передбачає формування інтегрального показника психологічного стану особи, який узагальнює сукупність окремих параметрів та дозволяє кількісно оцінити рівень відхилення від нормального стану. На основі цього показника здійснюється класифікація стану особи та визначення рівня ризику виникнення небезпечної поведінки. Система підтримки прийняття рішень формує рекомендації щодо подальших дій, спрямованих на зниження ризиків, що може включати як попереджувальні заходи, так і оперативне реагування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні підходу до оцінювання психологічного стану особи шляхом комплексного використання інформаційних технологій для обробки різномірних даних та врахування їх невизначеності і динамічності. Запропоновано формування інтегрального показника психологічного стану та підхід до оцінювання рівня ризику виникнення небезпечних ситуацій, що дозволяє підвищити об'єктивність і достовірність прийняття рішень.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування розробленого підходу в інформаційно-аналітичних системах безпеки, системах моніторингу стану персоналу, у сфері цивільного захисту, а також у системах забезпечення громадської безпеки. Реалізація запропонованих рішень сприятиме підвищенню ефективності управління ризиками, пов'язаними з людським фактором, та забезпечить своєчасне виявлення потенційно небезпечних станів особи.

### Список літератури

1. Тютюник О.О., Носань Ю.В. Особливості застосування інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень щодо психологічного стану особи для недопущення її потрапляння у небезпечні ситуації. Комунальне господарство міст. Серія: Інформаційні технології та інженерія. 2025. Т. 6. Вип. 194. С. 10–19.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ ЛОКАЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Задачі управління трафіком локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) можуть бути реалізовані з використанням комутації пакетів на основі стека протоколів TCP/IP. Основними критеріями при цьому є: забезпечення цілісності, доступності та конфіденційності даних, що передаються через мережу, а також мінімізація завантаження каналів зв'язку.

У доповіді розглядається метод управління трафіком на міжмережевих вузлах ЛОМ.

Існуючі математичні моделі трафіку у сучасних інфомунікаційних системах є дещо спрощеними та вузькоспеціалізованими. З використанням криптографічних протоколів чи елементарного дроблення пакетів дані методи не завжди дають однозначний результат [5]. Інколи доцільно оперувати терміном пропускну здатність, що визначає максимально можливу швидкість передачі даних в одиницю часу через лінію/вузол зв'язку. Одним із ключових показників оптимальності вирішення задачі управління трафіком ЛОМ на міжмережевому хості є рівень завантаження каналу.

Варто враховувати, що функції завантаження каналу містять велику кількість локальних екстремумів навіть на досить малому інтервалі часу.

Як критерій оптимальності  $J$  в задачі управління трафіком ЛОМ доцільно розглядати сумарний критерій мінімізації завантаження лінії зв'язку  $J_1$  і швидкодії  $J_2$ :

$$J = J_1 + J_2 = \min_{u \in \Omega_u} F(u, h, t) + \min_{u \in \Omega_u} T,$$

де  $u$  – керуючий вплив (набір команд модулям системи відповідно до стратегії реагування);  $\Omega_u$  – робоча область керуючих впливів;  $F(u, h, t)$  – нелінійна функція завантаження каналу, що описує зміну пропускну здатності ЛОМ у часі  $t$ ;  $h$  – зловмисні мережні впливи, перешкоди та неполадки у роботі системи;  $T$  – час прийняття рішень з управління.

Цю задачу можна реалізувати з використанням генетичної оптимізації (ГО), що дозволяє отримувати стійкі рішення при значній нестачі апріорної інформації про структуру системи та характер збурень [11]. Оскільки в поставленій задачі деякі варіанти рішень неприпустимі (можуть призвести до виходу з ладу системи), то пропонується доповнити стандартну схему ГО блоком нечіткої логіки (додаткового фільтра).

Розглянемо роботу запропонованого алгоритму. На модельних об'єктах проводиться прогнозування реакції системи на аномальні мережеві дії. Потім по зворотному зв'язку здійснюється коригування початкової вибірки (нових поколінь). Налаштування фільтра з використанням нечіткої логіки дозволяє вибрати з правильних рішень найбільш оптимальні, що мінімізує завантаження як сервера, так і мережевого каналу зв'язку.

Популяцією особин тут є кінцева множина можливих рішень. Як оцінку пристосованості пропонується використовувати вартісну функцію:

$$w_i = N \text{ traffic} + \text{traffic } ti - \text{traffic } i; i \in N,$$

де  $N$  – кількість вимірювань навантаження каналу в розглянутому інтервалі часу  $T$ ;  $\text{traffic}$  – середнє арифметичне значення завантаження каналу цього інтервалі часу;  $\text{traffic } i$  – значення навантаження каналу кожного відліку часу  $ti$ .

Перший доданок оцінки пристосованості представляє накопичену оцінку навантаження на канал зв'язку, а другий – накопичену оцінку відхилень навантаження вище середнього показника.

Для розпаралелювання аналізу генерованих рішень пропонується перенаправлення ідентичних інформаційних потоків на модельні об'єкти (МО) системи, підключені до альтернативного каналу зв'язку. Для кожного з цих рішень на відповідному МО обчислюється функція адаптації з задіянням блоку нечіткої логіки. Оцінка ефективності рішення здійснюється з використанням функції фітнесу:

$$F_i = \Delta w(t_i) w(t_i) \times 100\%.$$

З її допомогою проводиться підрахунок процентного співвідношення збільшення значення вартісної функції до значення вартісної функції в момент до прийняття рішення.

Залежно від показників функцій фітнесу та статистичних даних про попередні параметри ефективності рішень блок нечіткої логіки здійснює вибір оптимального рішення для системи.

### Список літератури

1. Джеймс Ф. Куроз, Кіт В. Росс. Комп'ютерні мережі: принципи, алгоритми та протоколи / Видавництво "Пірсон", 2020. 960 с.
2. Нефьодов Д.А., Удовенко С.Г., Чала Л.Е. Мікросервісна архітектура системи потокової обробки великих даних // АСУ та прилади автоматики. 2022. № 178. С. 50-64. DOI: 10.30837/0135-1710.2022.178

## СЕКЦІЯ 1. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Акіменко Кирил, Колгатін Олександр СТОХАСТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ: ПОСДНАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ МОНТЕ-КАРЛО ТА БАССІВСЬКОГО ОНОВЛЕННЯ.....	3
Skorin Yuriy, Shchur Vitaliy DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR TRACKING POSTAL TRANSPORTATION.....	4
Фролов Олег, Крупко Олег ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ПК З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПРОДУКТИВНОСТІ.....	5
Tokariiev Volodymyr, Kuznetsov Bohdan HYBRIDIZATION OF PMBOK STANDARDS AND GENETIC ALGORITHMS FOR IT PROJECT OPTIMIZATION.....	7
Skorin Yuriy, Khusainov Nikita BUSINESS MODEL FOR FORECASTING DEMAND FOR TRAVEL SERVICES .....	8
Tokariiev Volodymyr, Kholosha Serhii OVERCOMING RESOURCE CONSTRAINTS IN IT PROJECT PLANNING THROUGH SOM HYBRIDIZATION.....	9
Skorin Yuriy, Petrenko Bogdan NATURAL LANGUAGE PROCESSING TO EXAMINE USER FEEDBACK.....	10
Tokariiev Volodymyr, Skrynnyk Kyrylo ENHANCING ADAPTABILITY IN IT PROJECT PLANNING THROUGH SOM HYBRIDIZATION.....	11
Skorin Yuriy, Laktionov Artem HYBRID ENCRYPTION TECHNIQUES IN BLOCKCHAIN NETWORKS .....	12
Skorin Yuriy, Lukyanchuk Sofia ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FINANCIAL RISK OVERSIGHT SYSTEMS .....	13
Frolov Oleg, Oborozhnyi Yurii PERFORMANCE TRADE-OFFS AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF DATA SERIALIZATION PROTOCOLS IN MICROSERVICE ARCHITECTURES .....	14
Skorin Yuriy, Koltsova Elizaveta APPLICATION OF WEB TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF ORDER MANAGEMENT SYSTEMS IN THE FLOWER INDUSTRY SEGMENT.....	16
Skorin Yuriy, Gerasimova Victoria DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION TO SUPPORT THE PROCESS OF LEARNING FOREIGN LANGUAGES .....	17
Фролов Олег, Кондратьєв Олександр ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ЗБІРКИ ФРОНТЕНД-ЧАСТИНИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ .....	18
Голубничий Дмитро, Синицина Софія ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ: ВПЛИВ НА МОТИВАЦІЮ СТУДЕНТІВ .....	20
Токарєв Володимир, Хуан Сіньчєнь ДОСЛІДЖЕННЯ НЕФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ХМАРНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	22
Токарєв Володимир, Цай Іньда ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК ХМАРНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	23
Токар Костянтин, Парфьонов Юрій ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	24



Information Systems  
Department

«Сучасні інформаційні системи та технології  
в цифровому суспільстві»

Токарєв Володимир, Шварьов Денис ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЧОРНОЇ СКРИНЬКИ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	25
Токарєв Володимир, Стехненко Вадим ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ХМАРНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	26
Парфьонов Юрій СИСТЕМА ПОПЕРЕДНЬОГО АНАЛІЗУ АКАДЕМІЧНИХ ЗВІТІВ.....	27
Frolov Oleg, Krupin Vadym BLOCKCHAIN-BASED ELECTRONIC VOTING SYSTEMS: ARCHITECTURE, SECURITY MECHANISMS, AND EXPERIMENTAL EVALUATION .....	28
Demchenko Mykyta, Ushakova Iryna COLLECTION AND VISUALIZATION OF STATISTICAL DATA FROM IT RESOURCES FOR LABOR MARKET ANALYSIS .....	30
Ilchenko Yana, Ushakova Iryna SYSTEMATIZATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR ASSESSING FINANCIAL RELIABILITY IN FINANCIAL SCORING TASKS.....	32
Nesterenko Danylo, Ushakova Iryna COMPARISON OF ORM AND DIRECT INTERACTION APPROACHES FOR WORKING WITH LARGE VOLUMES OF DATA IN .NET.....	34
Trunov Mykyta, Ushakova Iryna DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR PERSONALIZED ENGLISH LANGUAGE LEARNING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE .....	36
Ushakova Iryna IMPROVING ONLINE LEARNING BASED ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES.....	38
Ushakova Iryna, Kudelenko Stanislav COMPARISON OF TASK PRIORITIZATION TECHNIQUES FOR IT TEAMS.....	40
Zadachyn Viktor APPLICATION OF THE COMBINED QUASI-NEWTON METHOD TO SOLVE OPTIMIZATION PROBLEMS IN MACHINE LEARNING .....	42
Poluliakh Andrii, Zadachyn Viktor DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR DIAGNOSING DISEASES BASED ON DERMATOSCOPIC IMAGES .....	44
Недашківська Валерія, Голубничий Дмитро ПОРІВНЯННЯ ФОРМАТІВ JSON ТА PROTOBUF ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ МІКРОСЕРВІСАМИ.....	45
Тарасова Діана, Голубничий Дмитро ІТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	47
Кривоногов Віктор, Колгатін Олександр РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОПОМОГИ СТУДЕНТАМ У ВИБОРІ ВАРІАНТІВ НАВЧАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ .....	48
Лінник Дар'я, Мінухін Сергій ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ МОДЕРАЦІЇ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТУ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ.....	50
Шапошник Максим, Мінухін Сергій РЕКУРСИВНА СЕМАНТИЧНА АД'ЮДИКАЦІЯ У МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ СИСТЕМАХ .....	51
Мінухін Сергій, Хаустов Данило ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ І СЕНСОРНИХ ДАНИХ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ТА ХАРЧОВОГО МОНІТОРИНГУ ЛЮДИНИ .....	52



Skorin Yuriy, Simonovich Stanislav WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT PLATFORM	53
Znakhur Liudmyla AI-AUGMENTED AGILE PROJECT MANAGEMENT	54
Шиян Ілля API GATEWAY У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КЕРОВАНOSTІ ІНТЕГРАЦІЇ ЗОВНІШНІХ СЕРВІСІВ	56
Znakhur Serhii VECTOR DATABASE ARCHITECTURES FOR RECOMMENDER SYSTEMS	57
Гризун Людмила, Панченко Альона УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ МЕРЕЖІ ФОТОСТУДІЙ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ	59
Пивоваров Артем, Бредіхін Володимир РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ПРОДУКЦІЇ КОНДИТЕРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА	60
Панов Максим, Мінухін Сергій ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ РОЗГОРТАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ AWS ЗА КРИТЕРІЯМИ ВАРТОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ	61
Бредіхін Володимир, Чміль Михайло МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ORM-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ МАСШТАБОВАНІЙ РОБОТІ З РЕЛЯЦІЙНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ	62
Новак Микола, Бредіхін Володимир ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПОШУКУ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ	63
Булгак Станіслав, Бредіхін Володимир РОЗРОБКА ANDROID-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОДІЄЮ КЛІЄНТІВ У РОЗДРІБНІЙ ТОРГІВЛІ	64
Мінухін Сергій ДОСЛІДЖЕННЯ ПАКЕТНОГО ВИКОНАННЯ SQL-ЗАПИТІВ В РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ДАНИХ НА ХМАРНИХ ПЛАТФОРМАХ	65
Бурлака Андрій, Колгатін Олександр ВПОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОЇ ОРКЕСТРАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ У ФРЕЙМВОРК PLAYWRIGHT	66
Пономаренко Кирило, Парфьонов Юрій АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ШИФРУВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ	67
Купріянов Олександр ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМУ СКЛАДАННІ	68
Плоха Олена, Стасюк Артем ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ СОЦІАЛЬНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ВІРТУАЛЬНИХ СВІТАХ	69
Poliakov Andrii, Kudria Daniil ANALYSIS OF JWT-BASED AUTHENTICATION PERFORMANCE AND SIGNATURE ALGORITHM SELECTION IN MICROSERVICE ARCHITECTURES	70
Беседовський Олексій, Бойко Єгор ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ У ЗАДАЧАХ ПИТАЛЬНО-ВІДПОВІДНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ОБМЕЖЕНЬ	73
Зінченко Данііл, Колгатін Олександр РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ТА ЗАКУПІВЛЯМИ МАЛОГО ВИРОБНИЦТВА	74



Tokariiev Volodymyr, Beda Alona A HYBRID APPROACH TO MINIMIZING TEMPORAL RISKS IN RCPSP PROBLEMS .....	76
Kharitonov Vladyslav, Fedorchenko Volodymyr PRIVACY-PRESERVING FEDERATED LEARNING FOR MEDICAL IMAGE CLASSIFICATION .....	77
Poliakov Andrii, Herasymuk Denys DEVELOPMENT OF A METHOD FOR SELECTING AN EFFECTIVE MACHINE LEARNING MODEL BASED ON SYSTEM REQUIREMENTS .....	78
Шкода Владислав МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ STORY POINTS НА ОСНОВІ СЕМАНТИЧНИХ ЕМБЕДІНГІВ ТЕКСТОВИХ ОПИСІВ ЗАДАЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ .....	81
Любинський Петро ІНФОРМАЦІЙНА СТІЙКІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ПІДЗЕМНИХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ .....	83

## **СЕКЦІЯ 2. СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ**

Brynza Natalia A SYSTEMATIC APPROACH TO COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE TESTING METHODS .....	85
Gorokhovatskyi Oleksii SMALL LANGUAGE MODELS FOR PERPLEXITY-BASED TEXT CLASSIFICATION .....	86
Hryshko Andrey, Udovenko Serhiy APPLICATION OF ADAPTIVE CRITICS IN REINFORCEMENT LEARNING PROBLEMS .....	87
Peredrii Olena SHALLOW NEURAL NETWORKS FOR CLASSIFYING UKRAINIAN AI-GENERATED CONTENT .....	88
Zamura Dmytro RAG SYSTEM FOR EDUCATIONAL CHAT BOT BASED ON OPENAI, PINECONE AND LANGCHAIN .....	89
Безкоровайний Володимир, Драз Оксана МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОЇ АДАПТАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДО НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ .....	90
Безкоровайний Володимир, Ліщевич Артем МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ЕТАПІ ЇХ РЕІНЖИНІРИНГУ .....	91
Володін Володимир, Гриньова Олена ОНТОЛОГІЧНА СИСТЕМА ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ ЗАСОБАМИ NLP .....	92
Георгієва Яна, Гриньова Олена ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЛОГІСТИКА В УМОВАХ КРИТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ .....	93
Єсипенко Владислав , Чала Лариса СИСТЕМА ГЕЙМІФІКОВАНОЇ ЛОЯЛЬНОСТІ ДЛЯ СУПЕРМАРКЕТІВ НА ОСНОВІ AI-ОБРОБКИ ЧЕКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРНОГО ПОШУКУ .....	94
Кобзев Ігор, Горелов Юрій СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ЗНАНЬ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ .....	95

Кобзев Ігор, Лук'янова Вікторія ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ ОСНОВАМ РОБОТИ З BIG DATA .....	96
Пономарьов Віктор, Гриньова Олена ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА TEAMFINDER ДЛЯ ГІБРИДНИХ СЕРВІСІВ .....	97
Порохнавець Андрій ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА ОСВІТНІХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ .....	98
Родіонов Ігор , Чала Лариса МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ТИПІВ ЛІКАРСЬКИХ ВЗАЄМОДІЙ.....	99
Тютюнник Вадим, Захарченко Юлія ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ .....	100
Тютюнник Вадим, Тютюнник Ольга ЗАСТОСУВАННЯ СЦЕНАРНОГО КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ .....	101
Тютюнник Вадим, Тютюнник Ольга, Усачов Дмитро СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ .....	102
Тютюнник Владислава., Кобзев Ігор РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МАГАЗИНУ З ПРОДАЖУ ЖІНОЧОГО ВЗУТТЯ .....	103
Тютюнник Ольга, Носань Юрій ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОСОБИ .....	104
Удовенко Сергій, Затхей Володимир, Тесленко Олег ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ ЛОКАЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ .....	105



## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Міжнародної науково-практичної конференції  
“Сучасні інформаційні системи та технології в  
цифровому суспільстві”  
16 – 17 квітня 2026 р.**

## ABSTRACTS OF REPORTS

**International scientific and practical conference  
"Modern information systems and technologies  
in the digital society"  
April 16 - 17, 2026**

*Відповідальний за випуск: Д.О. Бондаренко*

*Комп'ютерна верстка: Д.Ю. Голубничий*

---



Information Systems  
Department

«Сучасні інформаційні системи та технології  
в цифровому суспільстві»