

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління



Матеріали

I Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених
**«ICSPM 2026: Intelligent Computing Systems and Project Management /
Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проєктами»**
21–22 травня 2026 р.



м. Тернопіль - 2026

УДК 004.8:005.8](063)

Присвячено 60-річчю Західноукраїнського національного університету

ICSPM 2026: Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проєктами : збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених (Тернопіль, 21–22 травня 2026 року). – Тернопіль : ЗУНУ, 2026. – 190 с.

До збірника увійшли тези доповідей учасників I Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених «ICSPM 2026: Intelligent Computing Systems and Project Management / Інтелектуальні обчислювальні системи та управління проєктами», що відбулася на базі кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету.

Матеріали відображають результати досліджень за такими напрямками:

1. Інтелектуальні обчислення та програмні системи.
2. Проєктно-орієнтоване управління та процеси прийняття рішень.
3. Штучний інтелект, аналітика даних і кібернетика.
4. Прикладні технології та інформаційно-комунікаційні системи.
5. Сучасні інформаційні технології в економіці, праві та освіті.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету (протокол №12 від 26.05.2026 р.).

За зміст наукових праць, точність наведених цитувань, перекладу та достовірність фактологічних матеріалів відповідальність несуть автори публікацій. У збірнику збережено авторську стилістику, пунктуацію та орфографію.

© Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління ЗУНУ, 2026

© Західноукраїнський національний університет, 2026

Керівництво програмного комітету:**Голова програмного комітету:**

Оксана ДЕСЯТНЮК, д.е.н., професор, ректор Західноукраїнського національного університету

Співголови програмного комітету:

Уляна КОРУЦ, д.ю.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи Західноукраїнського національного університету

Микола ДИВАК, д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Західноукраїнського національного університету

Члени програмного комітету:

Наталія ДЗЮБАНОВСЬКА, д.е.н., професор, в.о. завідувача кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Ігор ЯКИМЕНКО, д.т.н., доцент, декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету

Анатолій САЧЕНКО, д.т.н., професор, заслужений винахідник України, директор НДІ ІКС, професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Галина ШИЛО, д.т.н., професор, ректор Запорізького національного університету

Олег САВЕНКО, д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет

Валентина ПЛЕСКАЧ, д.е.н., к.т.н., професор, завідувач кафедри прикладних інформаційних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Юрій ГУНЧЕНКО, д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та технологій, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

Павло ГРИГОРУК, д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі, Хмельницький національний університет

Інна ЧАЙКОВСЬКА, д.е.н., професор, професор кафедри економіки, аналітики, моделювання та інформаційних технологій в бізнесі, голова наукового товариства студентів та молодих вчених, Хмельницький національний університет

Роман ЮЗЕФОВИЧ, д.т.н., професор, завідувач відділу методів та засобів відбору й обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України

Олег ЛИЧАК, д.т.н., старший науковий співробітник відділу методів та засобів відбору й обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України

Богдан АДАМИК, Астонський університет, Велика Британія

Вольфганг ДОРНЕР, Технологічний університет м. Деггендорф, Німеччина

Фране УРЕМ, Університет прикладних наук у м. Шибеник, Республіка Хорватія

Артур РОТ, Вроцлавський університет економіки та бізнесу, Польща

М. Маджид ХАН, Університет COMSATS в Ісламабаді, Пакистан

Томас ЛЯЙТГЕБ, Педагогічний університет Бургенланду, Австрія

Руслан ШЕВЧУК, Університет Бельсько-Бяла, Польща

Даріуш БОБЕР, Жешувський університет, Польща

Неллі УХОВА, Дрезденський технологічний університет, CIDS – Центр міждисциплінарних цифрових наук, Німеччина

Карстен ВОЛЬФ, Дортмундський університет прикладних наук і мистецтв, Німеччина

Юрген ЗІК, Берлінський університет імені Гумбольдтів, Німеччина

Джордж МАРКОВСЬКИЙ, Університет штату Мейн, США

Ніколаос БАРДІС, Грецька військова академія, Греція

Рао Амір Алі ХАН, Університет COMSATS в Ісламабаді, Пакистан

Грігоре СТАМАТЕСКУ, Політехнічний університет Бухареста, Румунія

Курош МАДАНИ, Університет Париж XII Валь де Марн, Франція

Ігор КОНОНЕНКО, д.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Катерина КОЛЕСНИКОВА, Міжнародний IT-університет, Казахстан

Сергій БУШУЄВ, д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури

Інна СКАРГА-БАНДУРОВА, Оксфорд Брукс Університет, Велика Британія

Георгі ДИМІТРОВ, Університет бібліотечних наук та інформаційних технологій, Болгарія

Віталій КОБЕЦЬ, д.е.н., професор, Херсонський державний університет

Георгі ГЕОРГІЄВ, Софійський технічний університет, Болгарія

Сергій РППА, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

Голова організаційного комітету:

Надія ВАСИЛЬКІВ, к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Члени оргкомітету:

Василь КОВАЛЬ, к.т.н., доцент, заступник декана факультету комп'ютерних інформаційних технологій, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Володимир КОЧАН, к.т.н., професор, професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Михайло ДОМБРОВСЬКИЙ, к.т.н., доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Олександр ОСОЛІНСЬКИЙ, к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Ірина ТУРЧЕНКО, к.т.н., доцент, заступник декана факультету комп'ютерних інформаційних технологій, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Тарас ЛЕНДЮК, к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Руслан СКАЛІЙ, викладач кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Михайло МАЧУЛЯК, викладач кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Дмитро ДЮГ, викладач кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Микола ТЕЛЬКА, старший лаборант кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

Святослав ГНАТІВ, лаборант кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління Західноукраїнського національного університету

ЗМІСТ

*СЕКЦІЯ - ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ ТА ПРОГРАМНІ СИСТЕМИ /
INTELLIGENT COMPUTING AND SOFTWARE SYSTEMS*

D. Hural, N. Dziubanovska, R. Skalii

OPERATING SYSTEM ARCHITECTURE FOR THE IMPLEMENTATION OF
INTELLIGENT CONTROL OF A SOLAR POWER INSTALLATION USING A
DIGITAL TWIN 12

Vitalii Leus, Oleksandr Osolinskyi

CONCEPT OF AN INTELLIGENT HARDWARE CONTROL SYSTEM BASED
ON GESTURE RECOGNITION 16

Вібла К.Т., Васильків Н.М.

СЕРВІС ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ХАРЧУВАННЯ І ФІЗИЧНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ 20

Воєвудський О.О., Турченко І.В.

БЕЗКОТАКТНИЙ ІНТЕРФЕЙС ВІДЕО-КЕРУВАННЯ ЦИФРОВИМ
ДВІЙНИКОМ В ІМЕРСИВНОМУ ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ 23

Ковтуненко А.О., Биковий П.Є.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ОБЛИЧ
ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНА RYZE TELLO 27

Матвійчук О.О., Биковий П.Є.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ОБРОБКИ ТЕКСТОВИХ ЗАПИТІВ ДЛЯ
РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ У TELEGRAM-БОТІ 30

Новак Х.І., Турченко І.В.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НОТАТКАМИ З ФУНКЦІЯМИ МЕНЕДЖЕРА
ПАРОЛІВ ТА СПІЛЬНОГО ДОСТУПУ 34

Панасюк І.С., Лаштун М.М., Дубчак Л.О.

ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ОБРОБКИ ТЕСТОВИХ ДАНИХ ТА
ІНТЕГРАЦІЇ У ФРЕЙМВОРК АВТОМАТИЗАЦІЇ 38

Росоловський Ю.М., Турченко І.В.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ФІНАНСОВОЇ ПОВЕДІНКИ
КОРИСТУВАЧА НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 41

Савчук Д.В., Биковий П.Є.

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ПРОХОДЖЕННЯ AR-
КВЕСТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЇ 45

СЕКЦІЯ - ПРОЄКТНО-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТА ПРОЦЕСИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ / PROJECT-ORIENTED MANAGEMENT AND DECISION-MAKING PROCESSES

M.Richardson

INFRASTRUCTURE OBEYS PHYSICS: SYSTEMS ENGINEERING IN THE AGE OF AI..... 49

Петруха Н.М., Дзюбановська Н.В.

АДАПТИВНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ 53

СЕКЦІЯ - ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АНАЛІТИКА ДАНИХ І КІБЕРНЕТИКА / ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DATA ANALYTICS, AND CYBERNETICS

M. Rokosh, M. Pryimak

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TABULAR COMPUTING PLATFORM BASED ON SEMANTIC QUERIES..... 57

Беднарчук Н.Ю., Турченко І.В.

ІНТЕРАКТИВНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ВЗАЄМОДІЇ КОРИСТУВАЧА З ІГРОВИМ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ..... 61

Вороновський В.В., Коваль В.С.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КАЛОРІЙНОСТІ СТРАВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ..... 64

Герцій В.В., Турченко І.В.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ТОЧНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО МОВЛЕННЯ..... 67

Дмитерко В.А., Домбровський М.З.

ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЕМОЦІЙНОГО ТОНУ ТЕКСТУ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ОСНОВІ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ 72

Ковальковський В.В., Турченко І.В.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ БАГАТОЕТАЛОННОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ У ЗАДАЧАХ БІОМЕТРИЧНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ ЗА УМОВ ОКЛЮЗІЇ 77

Кузьмич Б.А., Турченко І.В.

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ КООРДИНАТ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОНОМНОГО АГЕНТА В СЕРЕДОВИЩІ З ПЕРЕШКОДАМИ 82

Олексишин Є.О., Васильків Н.М. МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ AI-АГЕНТА ДЛЯ ДОМЕНУ НАСТІЛЬНИХ РОЛЬОВИХ ІГОР НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ RAG ТА ДОМЕННОГО FINE-TUNING	85
Островецький С.В., Полукетова Н.Р. МОДЕЛЬ ПРОГРАМНОЇ АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ REINFORCEMENT LEARNING В АЛГОРИТМ ALNS	90
Панасевич К.О., Турченко І.В. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ТИПОГРАФІЧНИХ ПАР ШРИФТІВ ДЛЯ ДИЗАЙНЕРСЬКИХ ЗАДАЧ	94
Реденський О.О., Котляр О.В., Духновська К.К. ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАУКОВИХ ТЕКСТІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПУБЛІКАЦІЙ.....	98
Руснак А.М., Сегін А.І. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАХВАТОМ МАНІПУЛЯТОРА РОБОТА	102
Созанський А.Б., Васильків Н.М. RAG-АГЕНТ ЯК ОСНОВА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ПОШУКУ РЕЛЕВАНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	106
Фурда А.І., Турченко І.В. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОДУЛЬ РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ ДЛЯ СЕРВІСУ ОНЛАЙН-ОРЕНДИ АВТОМОБІЛІВ.....	109
Цинайко В.П., Биковий П.Є. ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДАЖІВ АПТЕЧНОЇ МЕРЕЖІ	112
Яремчук В.М., Лендюк Т.В. ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ХОДЬБИ ПЕРСОНАЖА В СЕРЕДОВИЩІ UNITY	116
<i>СЕКЦІЯ - ПРИКЛАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ / APPLIED TECHNOLOGIES AND INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS</i>	
Боднаровський І.В., Турченко І.В. ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПРОВЕДЕННЯ ЦИФРОВОГО ДОЗВІЛЛЯ	122

Воїнський Ю.В., Коваль В.С. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОПОВІЩЕННЯМИ В ОСВІТНЬОМУ ЗАКЛАДІ	125
Ворожбит Р.О., Турченко І.В. КРОСПЛАТФОРМЕННИЙ МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИКОНАННЯ СПОРТИВНИХ ВПРАВ ТА САМОКОНТРОЛЮ	129
Гнатів С.В., Васильків Н.М. АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІoT-СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБОЧОГО ЧАСУ З БАГАТОФАКТОРНОЮ АВТЕНТИФІКАЦІЄЮ	132
Заблоцький М.М., Хміль В.А., Васильків Н.М. ВПЛИВ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	136
Клюд Д.В., Васильків Н.М. ІНТЕРАКТИВНИЙ UI/UX МОДУЛЬ МОБІЛЬНОГО СЕРВІСУ ОНЛАЙН- ЗАМОВЛЕНЬ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ.....	139
Концограда С.М., Турченко І.В. ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ	142
Олізар М., Морохович В. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ	146
Путькало М.П., Домбровський М.З. ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ GRU У ЗАДАЧАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРИ AI- ТА EDGE-НАВАНТАЖЕННЯХ	150
Старостюк В.С., Турченко І.В. ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВЕТЕРИНАРНОЇ КЛІНІКИ.....	155
Телька М.І., Мимоход О.Б., Федорук М.Ю. ПРОЄКТУВАННЯ DASHBOARD-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	159
Федіков В.О., Турченко І.В. ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАМОВЛЕНЬ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ	162

Хархаліс В.Ю., Турченко І.В. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ІНТЕРВАЛЬНОГО ЗАПАМ'ЯТОВУВАННЯ.....	165
Шабатько А.В., Турченко І.В. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОСОБИСТИХ ФІНАНСІВ	168
<i>СЕКЦІЯ - СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ПРАВІ ТА ОСВІТІ / MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMICS, LAW, AND EDUCATION</i>	
I.Tsegelnyy, N.Dziubanovska QUALIMETRIC MODEL OF DIGITAL EVALUATION OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF ECONOMIC RECOVERY PROJECTS IN UKRAINE	173
Гурняк С.С., Биковий П.Є. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ФІНАНСАМИ.....	177
Климчук А.Б., Турченко І.В. МЕТОД ПАРАЛЕЛЬНОЇ СЕМАНТИЧНОЇ ОБРОБКИ МЕДІА-РЕСУРСІВ ДЛЯ КОНТЕКСТНО-АДАПТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ.	180
Котрубенко В.І., Васильків Н.М. ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОНЛАЙН-ЗАМОВЛЕНЬ ЮВЕЛІРНИХ ПРИКРАС.....	184
Овчарук А.І., Васильків Н.М. МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ EXCEL ТА PYTHON	187

СЕКЦІЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ ТА ПРОГРАМНІ
СИСТЕМИ / INTELLIGENT COMPUTING AND
SOFTWARE SYSTEMS

UDC 004.415.2:004.942:621.311.243

OPERATING SYSTEM ARCHITECTURE FOR THE IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT CONTROL OF A SOLAR POWER INSTALLATION USING A DIGITAL TWIN

Dmytro Hural, PhD student,
d.hural@st.wunu.edu.ua

Scientific supervisor: Nataliia Dziubanovska,
D.Sc. in Economics, Professor, Acting Head of
the Department of Information and Computing
Systems and Control,
West Ukrainian National University,
n.dziubanovska@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-8441-5216

Ruslan Skalii, lecturer,
Department of Information and Computing
Systems and Control,
West Ukrainian National University
ruslan.skalii@gmail.com

The increasing share of renewable energy sources in modern power systems necessitates improving the efficiency of solar power installation control. Solar power generation is one of the most promising directions in the development of distributed energy systems; however, its operation strongly depends on external conditions, including solar irradiance, ambient temperature, cloud cover, and the nature of electrical load demand.

The main challenge in the operation of solar power installations is the instability of output power, which complicates the maintenance of optimal operating conditions. Under such circumstances, conventional control methods, including classical maximum power point tracking algorithms and fixed controllers, do not always provide sufficient adaptability and response speed in real-time operation.

A promising approach to solving this problem is the application of intelligent control methods combined with digital twin technology. A digital twin makes it possible to reproduce the current state of a solar power installation, predict changes in its operating parameters, and evaluate the effectiveness of control actions before applying them to the physical system.

At the same time, the effective implementation of such an approach requires an appropriate software architecture. In this context, the operating system serves as the foundation for organizing data acquisition, information processing, control execution, monitoring, and interaction with the digital twin. The integration of operating system

architecture, intelligent algorithms, and digital twin technology makes it possible to improve the accuracy, adaptability, and reliability of solar power installation control.

The analysis of recent studies has demonstrated the active adoption of digital twin technology in energy management systems. In particular, digital twins are used for power generation forecasting and optimization of energy system operating modes [1], as well as for condition monitoring of photovoltaic installations [2]. Some studies also demonstrate the feasibility of using operating systems as integration platforms for implementing intelligent control of complex technical systems [3, 4]. In addition, a digital twin can serve as a virtual environment for adaptive control parameter adjustment and real-time decision support [5]. However, the implementation of intelligent control for solar power installations at the level of operating system architecture with integrated digital twin functionality remains insufficiently explored.

To develop the digital twin of a solar power installation, it is appropriate to use a mathematical model of the photovoltaic module that takes into account the effects of solar irradiance, ambient temperature, and the electrical parameters of the solar panel.

To model the behavior of the photovoltaic module, a single-diode mathematical model is used, which is widely applied for describing the electrical characteristics of solar panels [6].

The output current of the photovoltaic module is determined by the following expression:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V+IR_s}{aV_t}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

where I – output current of the photovoltaic module;

I_{ph} – photogenerated current;

I_0 – diode saturation current;

V – output voltage;

R_s – series resistance;

R_{sh} – shunt resistance;

a – diode ideality factor;

V_t – thermal voltage.

The output power of the photovoltaic module is determined as:

$$P = V \cdot I. \quad (2)$$

The proposed model makes it possible to take into account the influence of solar irradiance, ambient temperature, and the internal electrical parameters of the photovoltaic module, ensuring an adequate representation of the behavior of a real solar power installation within the digital twin.

To implement intelligent control of the solar power installation, a two-level operating system architecture is proposed (Figure 1). The lower level is intended for executing time-critical tasks in real-time, while the upper level is responsible for digital twin operation, data analysis, and adaptive adjustment of control parameters.

At the lower level, it is appropriate to use a real-time operating system, such as FreeRTOS or Zephyr. It provides priority-based task scheduling, predictable response

time, and execution of functions directly related to the control of the solar power installation.

The lower level includes the following main tasks:

Data Acquisition – collection and preprocessing of telemetry data, including voltage, current, temperature, and solar irradiance values;

Control Tasks – generation of control signals for the power converter;

Protection – monitoring of abnormal operating conditions, including overvoltage, overload, and overheating;

Communication – transmission of telemetry data to the digital twin and reception of updated control parameters.

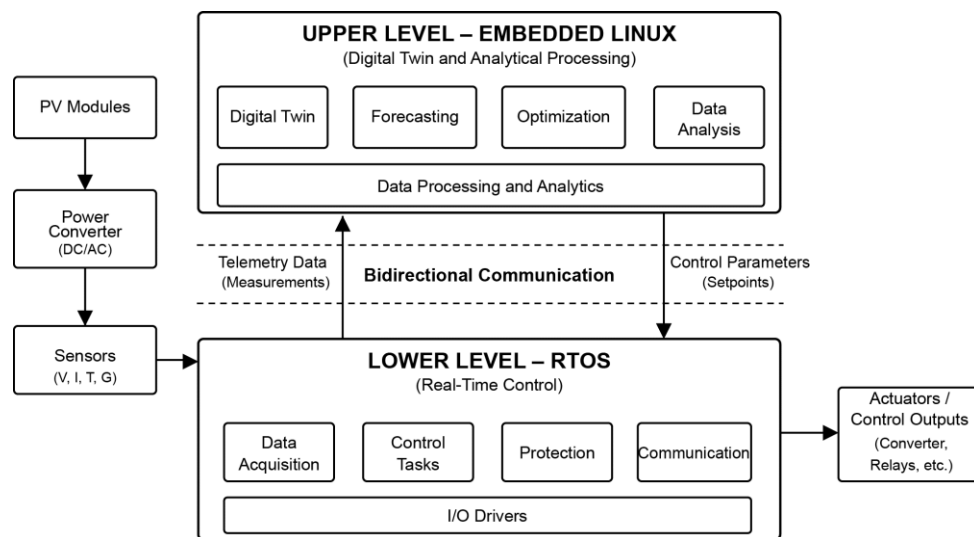


Figure 1 – Proposed Two-Level Operating System Architecture for Intelligent Control of a Solar Power Installation Using a Digital Twin

The upper level is implemented on the basis of the Embedded Linux operating system. It provides the operation of the digital twin, forecasting module, and optimization module. The digital twin receives telemetry data from the lower level, compares actual operating parameters with calculated values, and generates recommendations for adjusting operating modes.

A two-level operating system architecture for intelligent control of a solar power installation using a digital twin has been proposed. The lower RTOS-based level is responsible for data acquisition, control signal generation, protection, and communication, while the Embedded Linux-based upper level provides digital twin operation, forecasting, optimization, and analytical processing. This organization makes it possible to combine real-time responsiveness with intelligent decision-making.

The main advantage of the proposed architecture is the clear distribution of functions between deterministic control and analytical processing. Time-critical operations remain at the RTOS level, where predictable response time is required, whereas forecasting, optimization, and model-based analysis are performed at the

upper software level. This reduces the computational load on the real-time subsystem and increases the stability of the overall control process.

The integration of a digital twin into the operating system architecture enables the comparison of actual and calculated operating parameters and supports adaptive adjustment of control actions under changing environmental conditions. As a result, the system can respond not only to current changes in solar irradiance, temperature, and load, but also to predicted changes obtained through digital twin-based analysis.

The proposed approach can be used as a basis for developing scalable control solutions for distributed solar power installations. It is especially relevant for systems where local real-time control must be combined with higher-level monitoring, optimization, and decision support. Such architecture may also be applied in microgrids, smart energy systems, and distributed renewable energy infrastructures.

Future research may focus on practical implementation of the proposed architecture on embedded hardware platforms integrating RTOS and Embedded Linux environments. An important direction is the use of artificial intelligence methods for solar power forecasting, anomaly detection, and dynamic optimization of control parameters.

Another promising direction is experimental validation using real photovoltaic installations and hardware-in-the-loop simulation environments. Such validation would allow evaluation of system responsiveness, computational efficiency, reliability, and scalability under realistic operating conditions. In addition, further studies may include integration with battery energy storage systems and coordination with other renewable energy sources within smart grid infrastructures.

References

1. Gao, L., & Gao, Z. (2023). An optimal management architecture based on digital twin for smart solar-based islands incorporating deep learning and modified particle swarm optimization. *Solar Energy*, 262, 111872. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111872>
2. Kaitouni, S. I., Ait Abdelmoula, I., Es-sakali, N., Mghazli, M. O., Er-retby, H., Zoubir, Z., Brigui, J. (2024). Implementing a digital twin-based fault detection and diagnosis approach for optimal operation and maintenance of urban distributed solar photovoltaics. *Renewable Energy Focus*, 48, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.100530>
3. Chen, L., Hu, X., Wang, G., Cao, D., Li, L., & Wang, F. Y. (2021, July). Parallel mining operating systems: From digital twins to mining intelligence. In *2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI)* (pp. 469–473). <https://doi.org/10.16383/j.aas.2021.y000001>
4. Yeon, H., Eom, T., Jang, K., et al. (2023). DTUMOS, digital twin for large-scale urban mobility operating system. *Scientific Reports*, 13, 5154. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32326-9>
5. Zhang, K., Qu, T., Zhou, D., Jiang, H., Lin, Y., Li, P., ... Huang, G. Q. (2020). Digital twin-based opti-state control method for a synchronized production operation system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101892>
6. Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Ruppert Filho, E. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(5), 1198–1208. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2013862>

CONCEPT OF AN INTELLIGENT HARDWARE CONTROL SYSTEM BASED ON GESTURE RECOGNITION

Vitalii Leus, student,
v.leus@st.wunu.edu.ua

Scientific supervisor: Oleksandr Osolinskyi,
Associate Professor, Department of Information
and Computing Systems and Control,
West Ukrainian National University,
oso@wunu.edu.ua

At the current stage of information technology development, a global transformation of human-computer interaction (HCI) interfaces is taking place, with the creation of natural, intuitive communication methods becoming a priority. Global trends indicate the gradual replacement of traditional manipulators with intelligent contactless interfaces based on computer vision. In scientific literature, hand gesture recognition is considered a fundamental task of human-machine interaction, enabling the control of complex equipment without physical contact with input devices [2, 5].

Despite significant progress and the deployment of efficient frameworks for hand skeleton tracking, such as MediaPipe Hands, unresolved problems and challenges still remain. The primary difficulties arise when systems operate in real-world environments: dynamic lighting, complex backgrounds, partial occlusion by other objects, as well as the limited computational resources of mobile platforms [1, 6]. Consequently, developing robust and energy-efficient algorithms that can reliably function within industrial environments or the "Smart Home" concept is of high relevance, where touchless control is essential for improving hygienic safety and ergonomics of work processes [3].

To select the technological foundation of the system, a formalized efficiency assessment of existing hardware solutions was implemented using the weighted sum method. The integral indicator *Score* is calculated by the formula, where the parameters are evaluated on a 10-point scale:

$$Score = C_1 \times W_1 + C_2 \times W_2 + C_3 \times W_3 + C_4 \times W_4, \quad (1)$$

where W_1 — the level of overcoming technological challenges (the difficulty of mitigating obstacles);

W_2 — the availability and prevalence of tools;

W_3 — the quality of technical specifications (accuracy, speed);

W_4 — the universality of application;

C_n — the weighting coefficient.

The weighting coefficients are determined according to the system development priorities: $C_1 = 0,3$ (robustness to noise), $C_2 = 0,2$ (availability), $C_3 = 0,4$ (performance) and $C_4 = 0.1$ (universality). Part of the comparison results is presented in Table 1.

Table 1 – Comparison of primary hand gesture recognition means

Data Source	Challenges (W1)	Tools (W2)	Specifications (W3)	Application (W4)	Evaluation (Score)
Webcameras, Kinect	Field of view (7)	Available (10)	High accuracy (8)	HCI, household (9)	8.2
Leap Motion	Lighting (6)	Specialized (8)	Joint tracking (10)	Sign language (8)	8.2
Depth sensors	Range (6)	Medium (7)	3D information (9)	Gaming (8)	7.6
Smart gloves	Comfort (4)	Expensive (6)	Hand accuracy (9)	Industry (8)	7.2
Electromyography (EMG)	Placement (4)	Special (5)	Muscle activity (7)	Prosthetics (6)	5.6

Based on the analysis results, the highest integral evaluation (8.2 points) was achieved by computer vision-based systems utilizing standard webcams and the Leap Motion controller. The selected approach is based on transitioning from simple visual image analysis and skin color segmentation to multi-level data processing with the construction of skeletal models. This allows for separating the pose capture process from the command interpretation logic. The conceptual diagram of the proposed solution is shown in Figure 1.

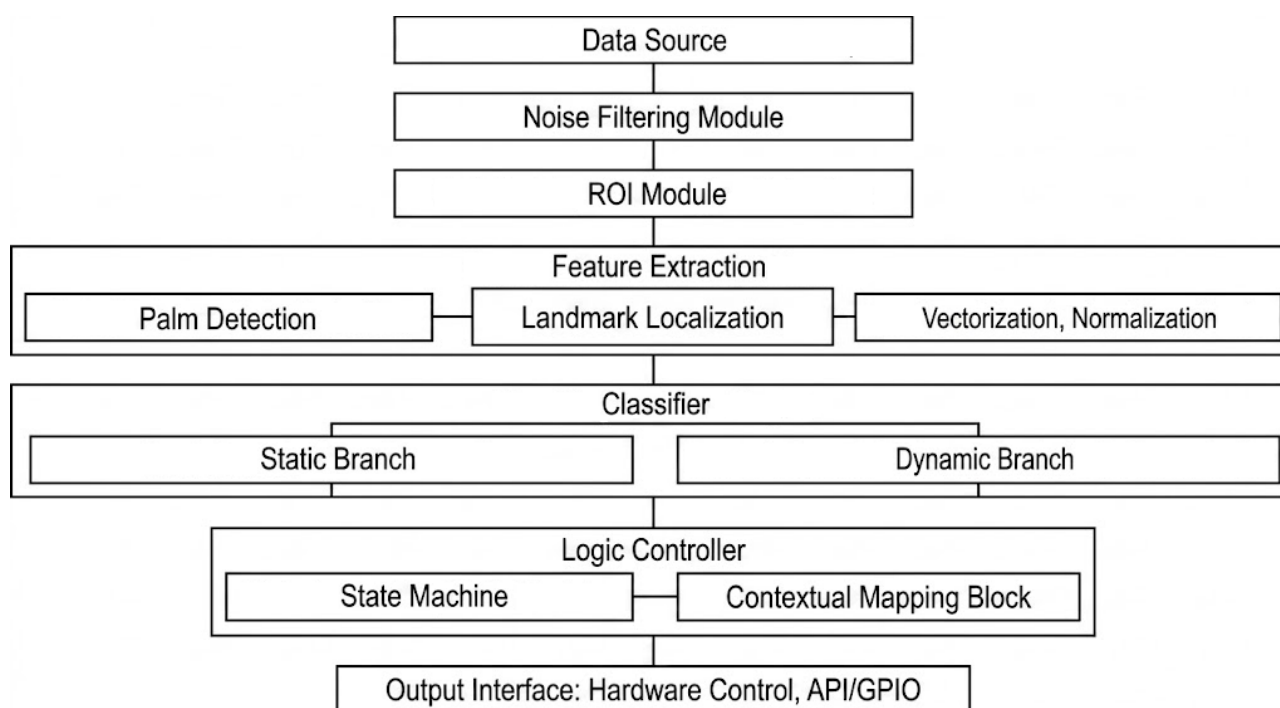


Figure 1 – System architecture concept

According to the developed concept, the first stage of video stream processing is the noise filtering and Region of Interest extraction module, which allows for automatic focusing on dynamic changes in the frame and ignoring background interference. The next level is the structural abstraction and feature extraction block, which includes a palm detector and a landmark localizer. Representing a gesture as a set of spatial vectors followed by their normalization ensures the system's invariance to the hand's distance from the camera and its orientation [5].

The central intelligent element of the system is the classifier, whose logic is divided into two branches. The static branch is responsible for recognizing the pose in the current frame using lightweight machine learning models, for example a one-dimensional convolutional neural network operating on the feature vector. Concurrently, the dynamic branch analyzes the trajectory of movements through a temporal sequence buffer, applying recurrent neural networks, which allows for differentiating complex gestures that share similar initial phases but have distinct completion trajectories [3, 4].

To transform the classification results into control signals, a logical controller is integrated into the architecture. It consists of a state machine that filters out false positives using confidence thresholds and time delay (debounce) mechanisms, and a contextual mapping block. Contextual adaptation allows for changing the meaning of the same gesture depending on the active operation mode of the equipment, making the interface more ergonomic. Final commands are transmitted to the output interface to control the target equipment via an API or input/output ports [6].

Experimental verification of the architecture involves conducting tests for both static and dynamic branches on datasets collected under various lighting conditions and partial occlusion. To evaluate the quality of the algorithms, Accuracy and macro-F1 metrics can be utilized, with latency and FPS metrics to confirm the feasibility of stable real-time operation.

The developed architecture provides a qualitatively new level of human-machine interaction reliability due to the synergy of spatial pose modeling methods and adaptive decision-making logic. This establishes a solid foundation for implementing contactless intelligent interfaces in home automation systems and industrial cyber-physical complexes.

References

1. Alabdullah, B. I., Ansar, H., Mudawi, N. A., et al. (2023). Smart home automation-based hand gesture recognition using feature fusion and recurrent neural network. *Sensors*, 23(17), 7523. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/17/7523>
2. Linardakis, M., Varlamis, I., & Papadopoulos, G. T. (2025). Survey on hand gesture recognition from visual input. *arXiv preprint arXiv:2501.11992*. <https://arxiv.org/abs/2501.11992>
3. Oudah, M., Al-Naji, A., & Chahl, J. (2020). Hand gesture recognition based on computer vision: A review of techniques. *Journal of Imaging*, 6(8), 73. <https://www.mdpi.com/2313-433X/6/8/73>
4. Research on mobile machine learning platforms for human gesture recognition in human-machine interaction systems. (2025). *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2). <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/325423>

5. Sarma, D., & Bhuyan, M. K. (2021). Methods, databases and recent advancement of vision-based hand gesture recognition for HCI systems: A review. *SN Computer Science*, 2, 436. https://www.researchgate.net/publication/354203395_Methods_Databases_and_Recent_Advancement_of_Vision-Based_Hand_Gesture_Recognition_for_HCI_Systems_A_Review
6. Sen, A., Mishra, T. K., & Dash, R. (2022). Deep learning based hand gesture recognition system and design of a human-machine interface. *arXiv preprint arXiv:2207.03112*. <https://arxiv.org/abs/2207.03112>

УДК 004.8: 004.9

СЕРВІС ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ХАРЧУВАННЯ І ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вібла Ксенія Тарасівна, студентка
kseniavibla@gmail.com

Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

У час зростання цифровізації з'являється більше можливостей для поєднання зацікавленості суспільства у веденні здорового способу життя та реалізації зручних програм для створення персональних планів. Поширені рекомендації стосовно правильного харчування і тренувань є загальними, тому не враховують як фізичні параметри людини, так і її індивідуальні потреби. Згідно дослідження [1], інтелектуальні системи можуть створювати унікальні методи харчування і тренувань на основі аналізу параметрів користувача та даних про здоров'я, враховуючи його специфічні потреби.

З розвитком інформаційних технологій важливу роль у підтримці здорового способу життя почали відігравати цифрові системи. Сучасні програми дозволяють автоматизувати процеси збору, аналізу та обробки даних користувачів. До таких систем належать мобільні додатки для фітнесу, онлайн-сервіси для контролю харчування, а також спеціалізовані інформаційні системи для планування фізичної активності та підтримки ментального здоров'я [2]. Використання таких систем дозволяє користувачам отримувати рекомендації, контролювати власні результати та відстежувати прогрес у досягненні поставлених цілей.

Цифрові системи здатні значно спростити процес організації здорового способу життя. Вони можуть автоматично збирати дані користувача, зберігати їх у базах даних, виконувати розрахунки добової потреби у калоріях та формувати персоналізовані рекомендації. Крім того, такі системи можуть надавати користувачам інформацію про виконані тренування, рівень фізичної активності, кількість вжитих калорій, білків, жирів та вуглеводів. Завдяки цьому користувач отримує можливість більш ефективно контролювати власний прогрес та коригувати свій спосіб життя.

Одним із сучасних напрямів розвитку цифрових сервісів є використання чат-ботів. Це програмні системи, які забезпечують автоматизовану взаємодію з користувачем через текстові повідомлення у месенджерах. Такий формат взаємодії є зручним для користувачів, оскільки не потребує встановлення

додаткового програмного забезпечення та дозволяє отримувати необхідну інформацію безпосередньо у середовищі звичного спілкування.

Однак універсальні програми харчування і тренувань, що не враховують індивідуальні характеристики людини, часто є недостатньо ефективними. Наприклад, людина може мати на меті зменшення маси тіла, збільшення м'язової маси або підтримання наявної фізичної форми. Кожна з цих цілей потребує різних підходів до організації харчування та тренувального процесу.

Тому розробка програмного модуля формування індивідуальних планів харчування і тренувань на основі аналізу потреб клієнта є актуальною. Такий програмний модуль повинен забезпечувати збір та обробку інформації про користувача (стать, вік, ріст, вага, цілі, рівень фізичної активності), а також генерування відповідних меті рекомендацій.

Найбільш зручною платформою для реалізації пропонованого програмного модуля є Telegram, оскільки цей додаток є досить популярним та має можливість інтеграції інтелектуальних систем та ботів. Завдяки цьому автоматизуються такі процеси, як збір і обробка даних, аналіз параметрів та надання персональних рекомендацій. Користувач взаємодіє з модулем у зручному і звичному форматі повідомлень. Окрім цього, платформа підтримує мультимедійний контент та інтерактивні елементи у вигляді меню і кнопок, що робить взаємодію легшою та зрозумілішою.

Після реєстрації у Telegram-боті користувач отримує доступ до меню, де може переглядати план харчування, який враховує добову норму білків, жирів, вуглеводів і клітковини, розрахованих на основі фізичних параметрів і цілей користувача. Також доступний план тренування, який відображає рекомендовану фізичну активність відповідно до цілі. Для покращення взаємодії та уточнення рекомендацій передбачено можливість діалогу з мовною моделлю LLaMA, яка у режимі реального часу надає пояснення та відповідає на запитання, враховуючи дані користувача [3, 4].

Алгоритм персоналізації реалізовано у вигляді серверного програмного модуля, який виконує обробку даних користувача після завершення реєстрації та формує індивідуальні параметри добового раціону і тренувального навантаження.

Вхідні дані користувача (вік, стать, вага, зріст, рівень фізичної активності та ціль) зчитуються з бази даних та передаються у функцію розрахунку. На основі цих даних виконується обчислення добової норми калорійності, після чого здійснюється розрахунок макронутрієнтів, а саме: білків, жирів, вуглеводів та клітковини.

Реалізація розрахунку базується на окремих функціях, які формують числові значення для кожного показника та зберігають їх у структурі профілю користувача. Отримані значення використовуються для формування щоденного плану харчування.

Залежно від обраної користувачем цілі (схуднення, підтримка або набір маси) змінюються параметри добового плану.

Формування тренувального плану виконується окремим логічним модулем, який підбирає тип тренування відповідно до цілі користувача та рівня фізичної активності. Тренування закріплюються у вигляді послідовності, що виключає пропуск або довільний вибір вправ.

Уся логіка персоналізації реалізована на стороні сервера, що забезпечує швидку обробку даних та централізоване управління розрахунками. Результат роботи алгоритму передається користувачу через Telegram-бот у структурованому вигляді.

Особливістю реалізації є те, що відповідь моделі формується з врахуванням індивідуальних параметрів користувача, що дозволяє адаптувати рекомендації під конкретні фізіологічні показники та цілі. Це забезпечує більш точну та практично орієнтовану взаємодію з системою.

Додатково до кожної відповіді системи автоматично додається попередження про необхідність консультації з фахівцем. Зокрема, у кінці кожного повідомлення зазначається, що надані рекомендації не є медичною порадою та у разі необхідності користувачу рекомендується звернутися до лікаря або дієтолога. Такий підхід підвищує безпеку використання системи.

Поєднання сучасних технологій штучного інтелекту з практичними інструментами для щоденної взаємодії з користувачем у сфері персоналізованого харчування та тренувань на основі платформи Telegram є перспективним напрямом розвитку цифрових сервісів у сфері охорони здоров'я, що поєднує зручність користувацького інтерфейсу з високою ефективністю персоналізації рекомендацій.

Список використаних джерел

1. Ngugi Mwaura J. The Role of Artificial Intelligence in Personalized Nutrition. *Research Invention Journal of Public Health and Pharmacy*. 2024. Vol. 3, No 2. P. 22-25. DOI: 10.59298/RIJPP/2024/322225
2. Nithya L.M., Gupta T., Sudharsan D.S., Christy J.D., Somasundaram S. Healthify: A Conversational AI for Mental Health Support Using Groq and LangChain Frameworks. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. 2025. Vol. 10, No. 4. P. 2214–2220. DOI: 10.38124/ijisrt/25apr1521.
3. H. Touvron, T. Lavril, G. Izacard, X. Martinet, M.-A. Lachaux, T. Lacroix, B. Rozière, N. Goyal, E. Hambro, F. Azhar, A. Rodriguez, A. Joulin, E. Grave, G. Lample. LLaMA: Open and efficient foundation language models. 2023. arXiv:2302.13971. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.13971>
4. Вібла К., Лип'яніна-Гончаренко Х. Інтелектуальний telegram-бот для персоналізованого харчування і тренувань з інтеграцією моделі LLAMA. «Інтелектуальні інформаційні технології в прикладних дослідженнях» (ІТАР-2025): Збірник тез доповідей студентської науково-практичної конференції. (Тернопіль, 27-29 травня 2025 року). 2025. С.125-128.

УДК 004.5:004.93

БЕЗКОНТАКТНИЙ ІНТЕРФЕЙС ВІДЕО-КЕРУВАННЯ ЦИФРОВИМ ДВІЙНИКОМ В ІМЕРСИВНОМУ ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Воевудський Олександр Олександрович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
sashaspaidr13@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Керування цифровими двійниками вимагає застосування ефективних методів людино-машинної взаємодії (Human-Computer Interaction, HCI) [1]. Традиційні апаратні пристрої введення інформації, такі як клавіатури, комп'ютерні миші чи геймпади, обмежують фізичну мобільність оператора та демонструють низьку ефективність при маніпулюванні тривимірними об'єктами в режимі реального часу. Цей підхід вимагає безперервного тактильного контакту і створює штучний бар'єр між природною біомеханікою людини та цифровим середовищем. Особливо гостро ця проблема постає в умовах створення імерсивних ігрових середовищ та тренажерів, де фізичний рух користувача є ключовим елементом взаємодії

Розвиток технологій просторових обчислень (Spatial Computing) формує нову предметну область, що вивчає методи повної заміни фізичних контролерів на оптичні сенсори [2]. Зазначений підхід передбачає, що тіло оператора стає безпосереднім пристроєм введення інформації. Незважаючи на стрімке оновлення інструментів машинного навчання, на ринку спостерігається технологічний розрив: існуючі моделі [3-4] генерують неструктурований масив просторових координат, який неможливо напряму передати до ігрового рушія. Виникає об'єктивна необхідність у розробці спеціалізованого проміжного програмного забезпечення (Middleware API) безконтактного (жестового) програмного контролера, здатного виконувати фільтрацію шумів та перетворення рухів у стандартизовані апаратні команди.

Проектування програмного інтерфейсу для безконтактного відеокерування вимагає аналізу існуючих технологій захоплення руху (Motion Capture). Індустріальні рішення можна класифікувати за методом отримання просторової інформації:

1) апаратні системи глибокого зондування: Microsoft Azure Kinect, Intel RealSense використовують інфрачервоні камери та ToF-датчики для апаратної

генерації карти глибини простору. Їхнім недоліком є висока вартість обладнання, чутливість до сонячного освітлення та жорстка прив'язка до специфічних ОС;

2) інерціальні системи (IMU): натільні костюми на зразок Rokoko використовують акселерометри та гіроскопи, застосовуючи алгоритми злиття сенсорних даних (Sensor Fusion). Вони забезпечують низьку затримку, але вимагають тривалого процесу надягання костюма та страждають від проблеми накопичення похибки інтегрування [5];

3) класичний комп'ютерний зір (OpenCV): спроби реалізувати трекінг алгоритмами субтракції фону або оптичного потоку (метод Лукаса-Канаде) є вкрай нестабільними та вимагають ідеального контрасту;

4) високорівневі нейромережі (OpenPose): використовують архітектуру з полів афінності частин (PAFs). Забезпечують виняткову точність, проте вимагають наявності високопродуктивних дискретних GPU для роботи в реальному часі [6].

У таблиці 1 наведено порівняння технологій для відео-керування.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика технологій для відео-керування

Технологія / Рішення	Апаратна база	Алгоритмічний підхід	Основний недолік
Сенсори глибини (Microsoft Kinect)	Інфрачервоні камери, ToF-датчики	Апаратна генерація карти глибини	Висока вартість, чутливість до освітлення
Інерціальні костюми (Rokoko, Xsens)	Натільні IMU-сенсори	Злиття сенсорних даних (Sensor Fusion)	Потреба у носінні костюма, похибка гіроскопів
OpenPose	Стандартна RGB веб-камера	Важкі нейромережі (PAFs)	Вимагає потужних дискретних GPU
Пропоноване рішення (Кастомний API)	Стандартна RGB веб-камера	MediaPipe Pose, евклідова математика	Потребує етапу проектування математичних порогів

Оптимальним компромісом для створення Middleware API є фреймворк Google MediaPipe Pose (архітектура BlazePose). Він забезпечує стабільний повноростовий трекінг 33 ключових точок тіла (Landmarks) безпосередньо на центральному процесорі (CPU) користувацького комп'ютера [7].

Розроблений програмний інтерфейс відеокерування базується на концепції конвеєрної обробки даних (Data Pipeline Architecture) у єдиному синхронному циклі. Обрана схема компонування складає п'ять взаємопов'язаних модулів:

1) підсистема захоплення відеопотоку: використовує бібліотеку OpenCV для ініціалізації веб-камери. Кожен кадр підлягає обов'язковому апаратному віддзеркаленню (для інтуїтивності управління) та конвертації колірного простору з BGR в RGB;

2) нейромережевий екстрактор: модуль на базі MediaPipe Pose працює в режимі безперервного трекінгу, повертаючи структурований тензор з 33 просторовими векторами тіла;

3) ядро математичної логіки: найбільш наукоємний компонент, який відмовився від абсолютних екранних координат. Логіка побудована на аналізі відносних векторних зміщень та обчисленні евклідових відстаней між центроїдами анатомічних вузлів;

4) підсистема емуляції системного вводу: використовує бібліотеку `rudirectinput` для генерації низькорівневих апаратних переривань. Це гарантує, що ігровий рушій (DirectX/OpenGL) розпізнає сигнали від віртуальної клавіатури/миші без затримок [8];

5) модуль візуального зворотного зв'язку (HUD): Накладає на відеокадр графову структуру розпізнаного кінематичного скелета та виводить телеметричні показники і статуси активних клавіш (ACTIVE).

Основною проблемою предметної області є архітектурна невідповідність між безперервною природою людських рухів та дискретним характером системного введення даних. Унаслідок природного м'язового тремору безпосереднє перетворення координат у події натискання клавіш призводить до виникнення високочастотних коливань (так званого «дребізгу»). Для усунення цього ефекту в ядро системи інтегровано механізми мертвої зони (deadzone) та гістерезису.

Математично розпізнавання жестів базується на розрахунку евклідової відстані між ключовими точками у просторі [9]:

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (1)$$

де D – евклідова відстань;

x_1, y_1 – координати першої ключової точки;

x_2, y_2 – координати другої ключової точки.

Ця логіка інтегрована зі словником станів (State Dictionary), що функціонує як скінченний автомат. Сигнал на затискання клавіші генерується рівно один раз при перетині порогу, а відпускання – лише після повернення біометрії у нейтральну зону.

Для керування цифровим двійником у формі ігрового аватару було розроблено наступний словник семантичних трансляцій кінематики:

1) переміщення (Клавіші A / D): алгоритм розраховує центроїд осі плечей та центроїд таза. Різниця цих центроїдів формує вектор нахилу тулуба вліво або вправо, що ініціює рух;

2) стрибок (Space): реєструється, коли координати обох кистей стають візуально вищими за Y -координату носа (точка 0 за MediaPipe);

3) атака (Ліва кнопка миші): динамічний бойовий рух (різкий випад рукою вперед). Для запобігання "фантомним" атакам впроваджено систему фізичної «перезарядки» (cooldown) – наступний удар неможливий без повернення кисті до грудей;

4) блок (Права кнопка миші): захисна стійка детектується через перехрещення рук (X-координата лівої кисті перетинає вертикальну вісь правого плеча);

5) відновлення мани (Клавіша Q): імерсивний жест піднесення кисті безпосередньо до рота або носа гравця.

Розроблений програмний інтерфейс успішно закриває виявлений технологічний розрив, виконуючи функцію універсального Middleware API. Синтез методів оптичного трекінгу (MediaPipe), векторної математики гістерезису та низькорівневої емуляції вводу (pydirectinput) дозволив створити безконтактний програмний контролер інтерфейсу людинно-машинної взаємодії. Інтерфейс відеокерування функціонує як «прозорий» віртуальний пристрій, забезпечуючи стабільну трансляцію фізичних рухів у команди керування цифровим двійником в реальному часі без необхідності залучення додаткового дороговартісного обладнання.

Список використаних джерел

1. Dix A., Finlay J., Abowd G. D., Beale R. Human-Computer Interaction. 3rd ed. Prentice Hall, 2003. 834 p.
2. Shekhar S., Vold P. Spatial computing. Cambridge, MA : The MIT Press, 2020. 256 p. ISBN 978-0262538046.
3. Kumari S., Tiwari S., Tyagi A. K. Spatial Computing: Opportunities and Challenges for the Next Decade. International Conference on Hybrid Intelligent Systems. Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. P. 143-155
4. Goel A., Goel A. K., Kumar A. The role of artificial neural network and machine learning in utilizing spatial information. Spatial Information Research. 2022. Vol. 31, no. 3. P. 275.
5. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, 2017. P. 85-113.
6. Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S. E., Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2021. Vol. 43, No. 1. P. 172-186
7. Liguori C. et al. MediaPipe: A Framework for Perceiving and Processing Reality. CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality. 2019. URL: https://xr.cornell.edu/s/NewTitle_May1_MediaPipe_CVPR_CV4ARVR_Workshop_2019.pdf
8. PyDirectInput: Python library for controlling mouse and keyboard. URL: <https://pypi.org/project/PyDirectInput/>
9. Black P. E. Euclidean distance. NIST Dictionary of Algorithms and Data Structures. URL: <https://www.nist.gov/dads/HTML/euclidndstnc.html>

УДК 004.932.2:629.7

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ОБЛИЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНА RYZE TELLO

Ковтуненко Андрій Олександрович, студент,
Kovtunenکو.andrіі2005@gmail.com

Науковий керівник: Биковий Павло Євгенович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
pb@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5705-5702

У сучасних умовах галузь безпілотних літальних апаратів переживає період надзвичайно стрімкого технологічного прогресу та масового впровадження у найрізноманітніші сфери діяльності. Дрони еволюціонували від простих дистанційно керованих пристроїв до складних автономних систем, здатних виконувати високоточну відеозйомку, моніторинг об'єктів та інтелектуальний супровід цілей без постійної участі людини.

Одним із найбільш актуальних завдань розвитку сучасної робототехніки є створення надійних систем автономного відеосупроводу, які здатні працювати у складних динамічних середовищах. Значна частина існуючих рішень досі використовує застарілі алгоритми, такі як каскади Хаара [1]. Вони мають низьку точність, чутливі до змін освітлення та, найголовніше, не здатні ідентифікувати конкретну особу серед інших, що призводить до частоті втрати цілі в багатолюдних середовищах. Це зумовлює необхідність розробки нових програмних модулів на базі сучасних нейромережових моделей та адаптивної біометрії.

Запропоноване рішення впроваджує метод адаптивної векторної біометрії, що базується на нейромережовій моделі Face Mesh бібліотеки MediaPipe [2]. Ця передова модель здатна визначати координати 468 ключових точок обличчя, надаючи достатньо даних для роботи алгоритму ідентифікації. Мовою програмування було обрано Python, що дозволяє легко інтегрувати оптимізовані бібліотеки комп'ютерного зору та взаємодії з дроном.

Взаємодія з апаратною частиною дрона відбувається через бібліотеку dji-tello, яка відповідає за обробку телеметрії та відправку команд дрону [3]. Для обробки відеопотоку використано OpenCV. Інтерфейс користувача розроблений на базі CustomTkinter. Він забезпечує виведення відеопотоку з камери дрона, елементи керування дроном, та відображення телеметричних даних, таких як рівень заряду акумулятора та поточна похибка валідації цілі у реальному часі.

Функціональні можливості програми включають повністю автономний політ після вибору цілі. Оператор у графічному інтерфейсі обирає об'єкт для відстеження одним кліком миші, після чого система формує індивідуальний біометричний профіль обличчя, отримуючи координати ключових точок обличчя в реальному часі.

Програма безперервно контролює стан дрона. Вона автоматично зчитує рівень заряду акумулятора та ініціює примусову безпечну посадку при падінні заряду нижче критичної позначки.

Також передбачена система інтелектуальної пам'яті: якщо ціль на мить зникла з поля зору (наприклад, її перекрив інший об'єкт), дрон зависає в точці останнього контакту і автоматично відновлює стеження, як тільки ідентифікує потрібне обличчя порівнявши його з еталонним профілем.

При потребі оператор у будь-який момент може перехопити керування за допомогою клавіатури або натиснути клавішу «пробіл» для екстреної посадки.

Процес ідентифікації обличчя полягає у порівнянні поточного профілю із еталонним, який обчислюється під час стартового калібрування системи при виборі цілі (середнє арифметичне обчислених векторів за 30 кадрами). Під час відстеження система обчислює векторні коефіцієнти для кожного обличчя, яке потрапляє в кадр, та порівнює їх із коефіцієнтами, отриманими під час калібрування системи.

Якщо похибка, тобто різниця між коефіцієнтами поточного обличчя і еталонними, перевищує встановлений поріг – система вважає їх різними обличчями і продовжує процес порівняння, поки похибка не опуститься нижче порогу. Похибка розраховується за метрикою Мангеттена з використанням вагових коефіцієнтів [4]. Чим більш стабільною та незалежною від рухів є ознака – тим більший ваговий коефіцієнт вона має.

Окрім модуля розпізнавання в системі присутній також модуль відстеження. Принцип його роботи полягає в утриманні обличчя в центрі кадру. Відхилення центру обличчя від центру кадру - це просторова похибка. На основі неї обчислюються параметри, які далі перетворюються в команди керування дроном. Вони вказують дрону в якому напрямку рухатися, щоб обличчя завжди було в центрі кадру.

За плавність рухів відповідає пропорційно-диференціальний регулятор, який регулює швидкість руху дрона залежно від величини просторової похибки, а також забезпечує плавне гальмування дрона при наближенні центра обличчя до центру кадру [5]. Це усуває різкі рухи та забезпечує плавне динамічне відео.

Під час тестування система продемонструвала хороші результати (рисунок 1). Тестування показало, що система здатна коректно розрізняти обличчя, не втрачала ціль при появі інших людей у кадрі та успішно відновлювала стеження після тимчасового перекриття обличчя. Програму протестовано на семи різних обличчях, помилкову ідентифікацію було зафіксовано лише один раз.

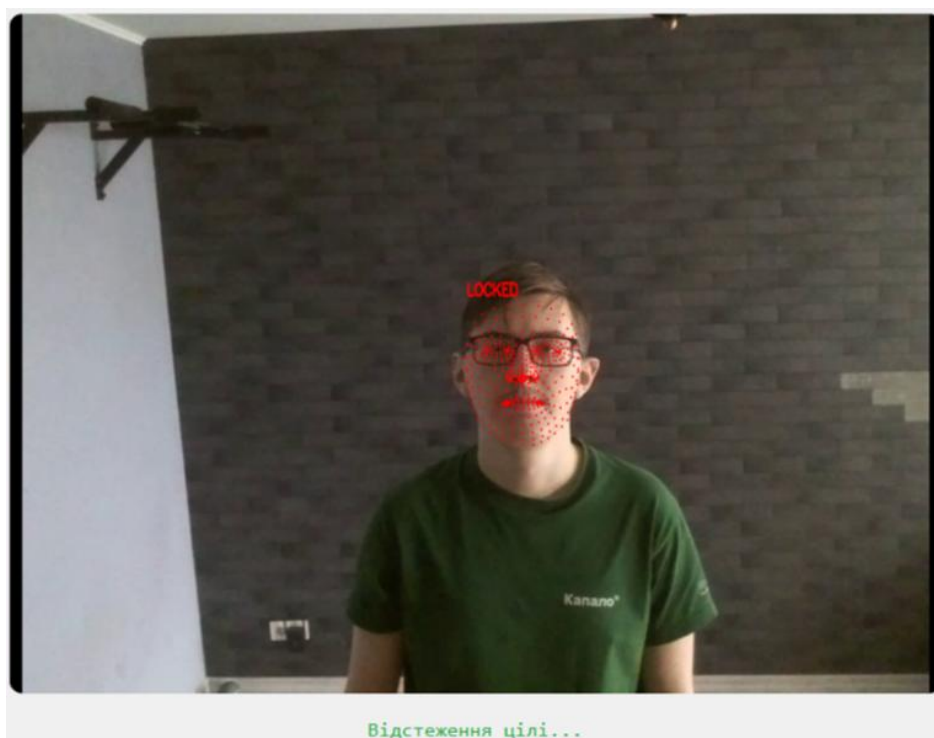


Рисунок 1 – Результат роботи програмного модуля

Список використаних джерел

1. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. (CVPR 2001)*, Kauai, 8-14 December 2001, I-511-I-518. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2001.990517>
2. Lugesesi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C. L., Yong, M. G., Lee, J., Chang, W. T., Hua, W., Georg, M., Grundmann, M. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. 2019. *arXiv:1906.08172*. <https://arxiv.org/abs/1906.08172>.
3. Fuentes, D. DJITelloPy: Python library for DJI Tello drones. GitHub, 2021. <https://github.com/damiafuentes/DJITelloPy>.
4. Deza, M. M., Deza, E. Encyclopedia of Distances. Springer, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-00234-2>.
5. Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2005. Vol. 13(4). P. 559–576. <https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331>.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ОБРОБКИ ТЕКСТОВИХ ЗАПИТІВ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ФІЛЬМІВ У TELEGRAM-БОТІ

Матвійчук Олег Олександрович, студент,
matvijchukoleg@gmail.com

Науковий керівник: Биковий Павло Євгенович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
pb@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5705-5702

Зростання обсягів медіаконтенту на сучасних стрімінгових платформах призводить до проблеми інформаційного перевантаження користувачів [1]. Традиційні інтерфейси веб-сайтів часто вимагають значного часу на навігацію, тому все більшої популярності набувають чат-боти в месенджерах, зокрема в Telegram [2]. Telegram забезпечує кросплатформеність, високу швидкість взаємодії та можливість асинхронної обробки запитів.

Метою даної роботи є розробка та практична реалізація програмного модуля, який забезпечує автоматизовану обробку текстових запитів користувача для надання релевантних рекомендацій фільмів, базуючись на інтеграції з зовнішніми API та використанні локальних баз даних для персоналізації.

Архітектура розробленої системи базується на модульному підході, що забезпечує гнучкість та легкість розширення функціоналу. Основними компонентами системи є:

1) Інтерфейсний рівень: реалізований за допомогою бібліотеки `python-telegram-bot`, що підтримує асинхронну обробку повідомлень [3, 9].

2) Рівень обробки запитів: спеціалізований модуль, що відповідає за розпізнавання намірів користувача та зіставлення текстових запитів з параметрами пошуку.

3) Рівень даних: динамічне отримання актуальної інформації про фільми та серіали через зовнішній API-інтерфейс [4].

4) Рівень збереження: локальне сховище для підтримки історії переглядів, списків «Обраного» та налаштувань користувача.

Для наочного відображення процесів маршрутизації та обробки запитів було розроблено структурну схему системи (рисунок 1). Як видно зі схеми, після первинного прийому повідомлення та аналізу текстового запиту, модуль визначає стратегію обробки: пошук за комплексними параметрами або за конкретною назвою.

Важливою архітектурною особливістю є те, що незалежно від обраної гілки пошуку, система спочатку звертається до зовнішнього сервісу для отримання

актуального списку медіаконтенту. Отримані дані обов'язково проходять через локальну базу даних для оновлення історії взаємодій користувача, і лише після цього формується фінальний список персоналізованих рекомендацій для відправки у чат.

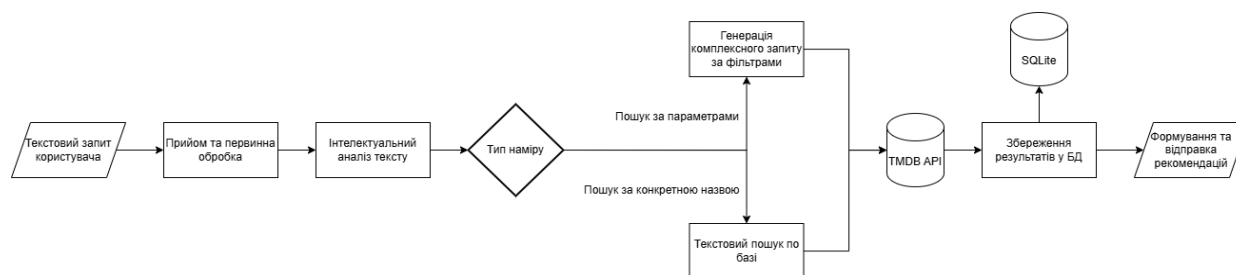


Рисунок 1 – Структурна схема обробки текстового запиту в програмному модулі

Використання асинхронності дозволяє боту обробляти декілька запитів одночасно без затримок у чаті, що є критичним для користувацького досвіду [8]. Для захисту конфіденційних даних (API-ключів) використано систему оточення .env, що відповідає стандартам безпечної розробки програмного забезпечення.

Основне технічне завдання полягає у перетворенні неструктурованого або напівструктурованого текстового вводу користувача у формалізований запит до бази даних фільмів [5]. У розробленому модулі реалізовано три основні стратегії обробки запитів:

1) Змістове зіставлення емоційного стану (Mood-based Search).

Замість класичного пошуку за назвою, модуль дозволяє здійснювати пошук за «настроєм». Користувач вводить опис свого стану, а модуль обробки запитів здійснює зіставлення цих описів із відповідними ідентифікаторами жанрів у системі TMDB.

2) Багатокритеріальна фільтрація за метаданими

Підтримка запитів, що містять конкретні фільтри: жанри, часові межі (рік випуску) та рейтинговий поріг (наприклад, 6.0+), що дозволяє автоматично відсіювати контент низької якості.

3) Алгоритм персоналізації на основі історії та уподобань

У базі даних SQLite реалізовано облік попередніх взаємодій, що дозволяє зберігати вибір користувача та уникати повторних рекомендацій тих самих фільмів [6, 7].

Програмна реалізація бота підтримує двомовний інтерфейс (українська та англійська), що забезпечується окремим модулем локалізації. Взаємодія з Telegram Bot API [3] реалізована через систему асинхронних хендлерів, що дозволяє інтегрувати складні меню для управління результатами пошуку. Основні технологічні компоненти та їх функціональне призначення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики компонентів програмного модуля

Компонент	Технологія	Функція
Core Language	Python 3.10+	Основна логіка та обробка даних
Bot Framework	python-telegram-bot	Взаємодія з API месенджера
External Data	TMDB API	Отримання метаданих фільмів
Local Storage	SQLite3	Персоналізація та налаштування
Deployment	Cloud VDS / Docker	Забезпечення доступності 24/7

Результати тестування модуля показали, що середній час відгуку системи на текстовий запит становить менше 500 мс. Система стабільно обробляє велику кількість одночасних сесій завдяки використанню `asuncio` та асинхронних хендлерів Telegram Bot API.

Головною технічною особливістю розробленого рішення є оптимізований процес зіставлення за змістом суб'єктивних текстових описів настрою користувача з об'єктивними категоріями метаданих фільмів у середовищі месенджерів. На відміну від громіздких нейромережових моделей, запропонований підхід забезпечує високу швидкість обробки на обмежених обчислювальних потужностях при збереженні прийнятної релевантності.

Практичне значення результатів дослідження полягає у створенні готового програмного модуля, який може бути використаний як персональний асистент для вибору медіаконтенту. Модульна архітектура дозволяє легко інтегрувати інші джерела даних (наприклад, IMDb або Rotten Tomatoes) без зміни основної логіки бота.

У результаті виконання роботи було розроблено програмний модуль для Telegram-бота, який забезпечує обробку текстових запитів для рекомендацій фільмів. Використання асинхронної архітектури у поєднанні з динамічним отриманням даних через TMDB API та локальним збереженням профілів користувачів дозволило створити ефективний інструмент персоналізації. Запропонований метод зіставлення настроїв із жанрами забезпечує інтуїтивно зрозумілу взаємодію з користувачем, мінімізуючи зусилля на пошук контенту. Подальші вдосконалення системи будуть спрямовані на впровадження елементів машинного навчання для глибшого аналізу текстових відгуків користувачів.

Список використаних джерел

1. State of the Art Movie Recommendation Systems: Optimized Hybrid Filtering and RAG Pipeline. *International Journal of Engineering Development and Research*. 2025. Vol. 13, Issue 4.
2. Волівач А. П., Рудий М. С., Аршад С. М. Алгоритм створення чат-бота для оптимізації організаційної роботи. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг*. 2023. С. 268–269.
3. Telegram Bot API Documentation. URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата звернення: 25.04.2025).
4. TMDB API Documentation. URL: <https://developer.themoviedb.org/docs> (дата звернення: 25.04.2025).

5. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. Pearson, 2020. 1166 p.
6. Хох Р. В. Підвищення якості пропозицій рекомендаційних систем. *Збірник наукових праць ПНТУ*. 2018. Вип. 1(47). С. 131–136.
7. Ricci F., Rokach L., Shapira B. *Recommender Systems Handbook*. 3rd ed. Springer, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2197-4>.
8. Python Software Foundation. `asyncio` — Asynchronous I/O. URL: <https://docs.python.org/3/library/asyncio.html> (дата звернення: 25.04.2025).
`python-telegram-bot` Documentation. URL: <https://docs.python-telegram-bot.org/>

УДК 004.912:004.056.52:004.77

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НОТАТКАМИ З ФУНКЦІЯМИ МЕНЕДЖЕРА ПАРОЛІВ ТА СПІЛЬНОГО ДОСТУПУ

Новак Христина Іванівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
khrystynanovak3004@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

У сучасному світі системи управління нотатками допомагають людям зберігати, упорядковувати та знаходити інформацію у цифровому вигляді, що дає користувачам можливість ефективно працювати з інформацією у різних сферах [1]. Також, важливим аспектом є можливість спільного доступу до інформації, оскільки це необхідно для управління проєктами та організації командної роботи. Водночас, особливе значення має інформаційна безпека, тому інтеграція менеджера паролів у систему управління нотатками є актуальним напрямком розвитку, що дозволяє зберегти конфіденційні дані та забезпечити їх захист від несанкціонованого доступу.

На даний час існує багато аналогів програмних систем для управління інформацією. Одним із найпоширеніших інструментів для роботи з нотатками є Microsoft OneNote. Програма входить до складу пакету Microsoft 365 і забезпечує створення текстових та рукописних записів, вставку зображень, аудіо та відео, інтеграцію з Outlook та Teams, а також можливість спільної роботи у реальному часі [2], проте не забезпечує інформаційної безпеки, оскільки відсутній інтегрований менеджер паролів. Іншим прикладом є Joplin, який створений із акцентом на конфіденційність, пропонуючи повне володіння даними завдяки шифруванню та мінімальному збору інформації. Проте у ньому немає інтегрованого менеджера паролів та функції спільного доступу організовані лише частково, також інтерфейс може здатись перевантаженим. Часто використовуваним аналогом є Simplenote, на відміну від Joplin, він має максимально прості екранні форми, проте він не підтримує мультимедійні дані, має слабку політику конфіденційності та не пропонує механізмів захисту інформації на рівні менеджера паролів чи контролю прав доступу. Огляд існуючих продуктів показав, що сучасні системи управління нотатками не забезпечують комплексного поєднання зручності роботи, інформаційної безпеки та механізмів спільного доступу.

Розробка настільної системи управління нотатками, яка забезпечує створення та редагування нотаток, безпечне збереження паролів із використанням механізмів шифрування, а також організацію спільних нотаток із можливістю створення груп і приєднання до них, є актуальною задачею сучасних інформаційних технологій.

Розроблена програмна система SecureNotes містить три модулі: модуль управління нотатками, модуль управління паролями та модуль управління спільним доступом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурна схема програмної системи

На рисунку 2 наведено основні дії, які може виконувати користувач у межах програмної системи.

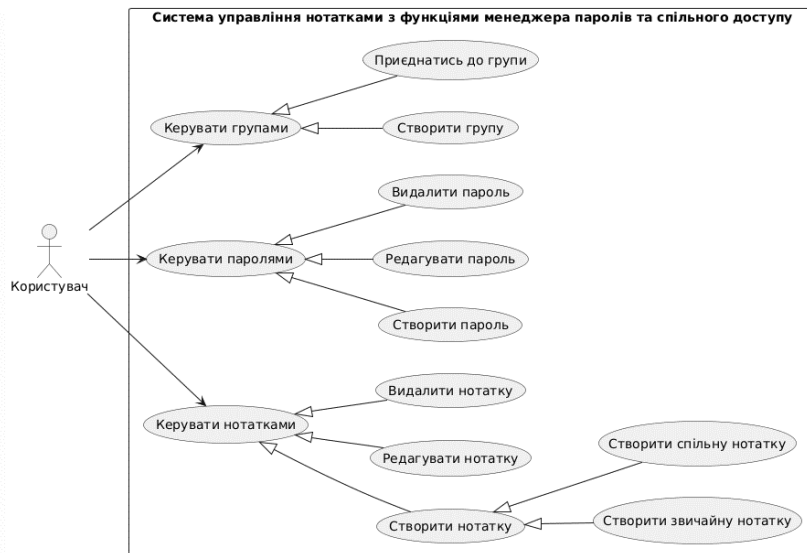


Рисунок 2 – Діаграма варіантів використання

Програмна система SecureNotes реалізована з урахуванням сучасних підходів до створення прикладного програмного забезпечення та вимог до надійності, масштабованості й безпеки інформаційних систем. Обрано мову програмування C# та платформу .NET, яка забезпечує середовище виконання програмного коду, яке відповідає за компіляцію, керування пам'яттю, перевірку

типів та контроль безпеки [3]. Інтерфейс користувача розроблено з використанням технології Windows Forms, стандартного інструменту для створення настільних програм для операційної системи Windows. Для фізичного розгортання інформаційного сховища використано хмарну інфраструктуру Aiven на базі СУБД MySQL. Причиною вибору хмари Aiven є необхідність забезпечити високу доступність даних та масштабувати ресурси зі збільшенням обсягу інформації.

Архітектурно програмна система побудована за клієнт-серверною моделлю. Для забезпечення гнучкості та безпеки доступу до даних у трирівневій моделі рівень доступу до даних реалізовано через проміжний шар – прикладний програмний інтерфейс (API). Клієнтський застосунок відповідає за відображення інтерфейсу користувача та формування запитів, серверна частина здійснює централізовану обробку логіки взаємодії та забезпечує контроль доступу до даних, а база даних виконує функцію довготривалого зберігання інформації. Передача інформації здійснюється за допомогою протоколу HTTP, який визначає структуру запитів і відповідей, а також коди стану виконання операцій. Використання текстового формату JSON для обміну даними забезпечує компактність передавання інформації та зручність її обробки як на стороні клієнта, так і на стороні сервера [4].

Інтерфейс SecureNotes забезпечує компактне відображення інформації без перевантаження елементами керування. Створення та редагування нотаток здійснюється в окремому діалоговому вікні, відмінність полягає лише у виборі типу запису, що визначається відповідним перемикачем. Якщо обрано тип запису «пароль», то нотатка автоматично додається до вкладки «Паролі», яка захищена від несанкціонованого доступу. Важливим аспектом є наявність у вікні створення нотаток інструментів для форматування та редагування тексту та підтримка збереження мультимедійних даних і прикріплення зовнішніх файлів. Також є окрема вкладка «Спільні нотатки», у якій є можливість створення чи приєднання до групи, а також відображаються спільні нотатки. Окрім основних форм, система містить окреме вікно налаштувань, призначене для конфігурації параметрів роботи застосунку. У цьому вікні користувач може змінювати параметри відображення інтерфейсу, зокрема тему оформлення. Зміна теми впливає на колірне оформлення елементів керування та загальний вигляд програми. Також, у цьому ж вікні можна перейти на інший акаунт чи змінити пароль до свого акаунту. Додатково, у SecureNotes реалізовано модуль локалізації, що забезпечує підтримку різних мов інтерфейсу.

Практична цінність програмної системи SecureNotes, полягає в тому, що вона може бути використана для організації особистих і спільних нотаток, а також для безпечного збереження конфіденційної інформації у навчальній, науковій та професійній діяльності.

Список використаних джерел

1. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. Черкаси: Черкас. нац. ун-т ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.
2. Microsoft OneNote Review 2025. CRM.org. 2025. URL: <https://crm.org>

3. .NET documentation. Microsoft Learn. 2024. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet>
4. Make HTTP requests with HttpClient in .NET. Microsoft Learn. 2024. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/fundamentals/networking/http/httpclient>

УДК 004.415.2:004.056

ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ОБРОБКИ ТЕСТОВИХ ДАНИХ ТА ІНТЕГРАЦІЇ У ФРЕЙМВОРК АВТОМАТИЗАЦІЇ

Панасюк Іван Сергійович, студент,
ivanpanasyuk64@gmail.com
Лаштун Микола Миколайович, студент,
mykolawrk336@gmail.com

Науковий керівник: Дубчак Леся Орестівна,
к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії
Західноукраїнський національний університет,
dlo@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0003-3743-2432

У сучасних умовах активного розвитку програмного забезпечення особливого значення набуває забезпечення якості програмних продуктів. Одним із найбільш ефективних підходів до перевірки функціональності програмних систем є автоматизоване тестування. Проте з ростом складності програмних продуктів збільшується кількість тестових сценаріїв та наборів даних, необхідних для перевірки різних умов функціонування системи.

Традиційні підходи до автоматизації тестування часто передбачають жорстке поєднання тестової логіки з тестовими даними, що ускладнює підтримку тестів та знижує рівень масштабованості фреймворку. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки програмного засобу інтеграції тестування на основі даних у фреймворк автоматизації.

Проблематика автоматизованого тестування та Data-Driven Testing розглядалася у працях багатьох науковців і практиків. Зокрема, Кент Бек досліджував принципи побудови ефективних тестових систем та підходи до автоматизації тестування [1]. Ліза Кріспін та Джанет Грегорі аналізували гнучкі методології тестування та інтеграцію автоматизованих тестів у процес розробки програмного забезпечення [2].

Майкл Фезерс приділяв увагу питанням підтримки тестованості програмних систем та мінімізації дублювання тестового коду [3]. Гленфорд Майєрс розглядав фундаментальні принципи тестування програмного забезпечення та ефективність використання тестових даних [4]. Дороті Грем досліджувала архітектуру тестових фреймворків та механізми автоматизації процесу тестування [5].

Проведений аналіз показав, що більшість сучасних фреймворків автоматизації підтримують концепцію Data-Driven Testing, однак питання ефективної інтеграції механізмів обробки тестових даних залишаються актуальними.

У результаті проведеного аналізу існуючих підходів до організації тестових даних у фреймворках автоматизації встановлено, що найбільш ефективним є підхід, за якого тестові дані зберігаються окремо від логіки тестових сценаріїв. Така архітектура дозволяє повторно використовувати тестові сценарії для різних наборів вхідних параметрів.

Для реалізації програмного засобу було обрано архітектуру, що включає:

- модуль зчитування тестових даних;
- модуль валідації даних;
- Data Provider для передачі параметрів у тести;
- модуль логування та генерації звітів;
- інтеграційний модуль взаємодії з тестовим фреймворком.

У якості основної мови програмування обрано Java, оскільки вона широко використовується у сфері автоматизованого тестування та має значну кількість бібліотек для роботи з тестовими даними. Для реалізації механізму Data-Driven Testing доцільним є використання фреймворку TestNG, який підтримує механізм Data Provider та забезпечує параметризацію тестів.

Під час проектування було визначено, що тестові дані можуть зберігатися у форматах JSON, CSV, Excel або надходити із зовнішніх API та баз даних. Для роботи з JSON-файлами запропоновано використання бібліотеки Jackson, а для роботи з Excel – Apache POI. Структура механізму інтеграції тестових даних наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Структурна схема механізму обробки тестових даних у фреймворку автоматизації

Під час проектування механізму інтеграції особливу увагу було приділено забезпеченню сумісності між компонентами фреймворку автоматизації та джерелами тестових даних. Використання стандартизованих форматів зберігання інформації дозволяє забезпечити універсальність програмного засобу та спрощує процес оновлення тестових наборів. Крім того, застосування модульного підходу сприяє підвищенню надійності системи та спрощує внесення змін до окремих компонентів без впливу на загальну архітектуру фреймворку. Реалізація механізму Data-Driven Testing також забезпечує підвищення рівня автоматизації процесу тестування та скорочення часу виконання тестових сценаріїв. Запропоноване рішення може бути адаптоване до різних типів програмних систем та використане у сучасних процесах розробки програмного забезпечення.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що використання механізму Data-Driven Testing дозволяє:

- зменшити дублювання тестового коду;
- підвищити повторне використання тестових сценаріїв;
- спростити підтримку тестового фреймворку;
- забезпечити масштабованість автоматизованого тестування;
- пришвидшити процес створення нових тестів.

Запропонована архітектура забезпечує можливість централізованого керування тестовими даними та спрощує інтеграцію нових джерел даних у фреймворк автоматизації.

Таким чином, досліджено особливості проектування механізму обробки тестових даних у фреймворках автоматизації. Проведений аналіз сучасних підходів дозволив обґрунтувати доцільність використання концепції Data-Driven Testing для підвищення ефективності автоматизованого тестування. Запропонована архітектура програмного засобу забезпечує модульність, масштабованість та спрощення підтримки тестового фреймворку. Отримані результати підтверджують ефективність інтеграції тестування на основі даних у сучасні системи автоматизації тестування.

Список використаних джерел

1. Beck K. Test Driven Development: By Example. Boston : Addison-Wesley, 2003. 240 p.
2. Crispin L., Gregory J. Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams. Boston : Addison-Wesley, 2009. 560 p.
3. Feathers M. Working Effectively with Legacy Code. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2004. 456 p.
4. Myers G. J., Sandler C., Badgett T. The Art of Software Testing. 3rd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2011. 248 p.
5. Graham D., Fewster M. Experiences of Test Automation: Case Studies of Software Test Automation. Boston : Addison-Wesley, 2012. 624 p.

УДК 004.8:004.62

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ФІНАНСОВОЇ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧА НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Росоловський Юрій Мар'янович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
rosolovskiy2005@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Цифровий банкінг в Україні розвивається високими темпами: значна частина дорослого населення регулярно користується мобільними застосунками банків [1]. Наявні засоби обліку особистих фінансів, зокрема паперові щоденники, електронні таблиці та базові мобільні застосунки, характеризуються низкою обмежень, серед яких трудомісткість ручної категоризації операцій, суб'єктивність розподілу витрат за категоріями та відсутність засобів прогнозування фінансових показників.

Подолання зазначених обмежень засобами машинного навчання становить актуальне науково-практичне завдання, для вирішення якого розроблено інтелектуальну мікросервісну систему аналізу, обліку та прогнозування особистих фінансів.

До функціоналу системи входять:

- а) каскадна категоризація транзакцій з україномовних описів;
- б) адаптивне прогнозування грошового потоку;
- в) виявлення аномальних витрат за категоріями;
- г) денна проєкція балансу з визначенням першої дати касового розриву;
- г) формування персоналізованих рекомендацій діалоговим помічником на основі великої мовної моделі з пошуково-доповненим генеруванням (англ. Retrieval-Augmented Generation, RAG) [2].

Архітектуру системи реалізовано за мікросервісним підходом, що налічує вісім автономних компонентів. Серверна частина включає чотири сервіси: автентифікації користувачів з ротацією JWT-токенів [3], профілю користувача, обліку фінансових операцій і синхронізації з банківськими прикладними програмними інтерфейсами (application programming interfaces (APIs)). До шару машинного навчання належать три сервіси: категоризатор операцій, прогностичний модуль і діалоговий помічник.

Клієнтську частину реалізовано як односторінковий застосунок. Захист банківських токенів забезпечено алгоритмом AES-256-GCM [4]. Компонентну структуру системи наведено на рисунку 1.

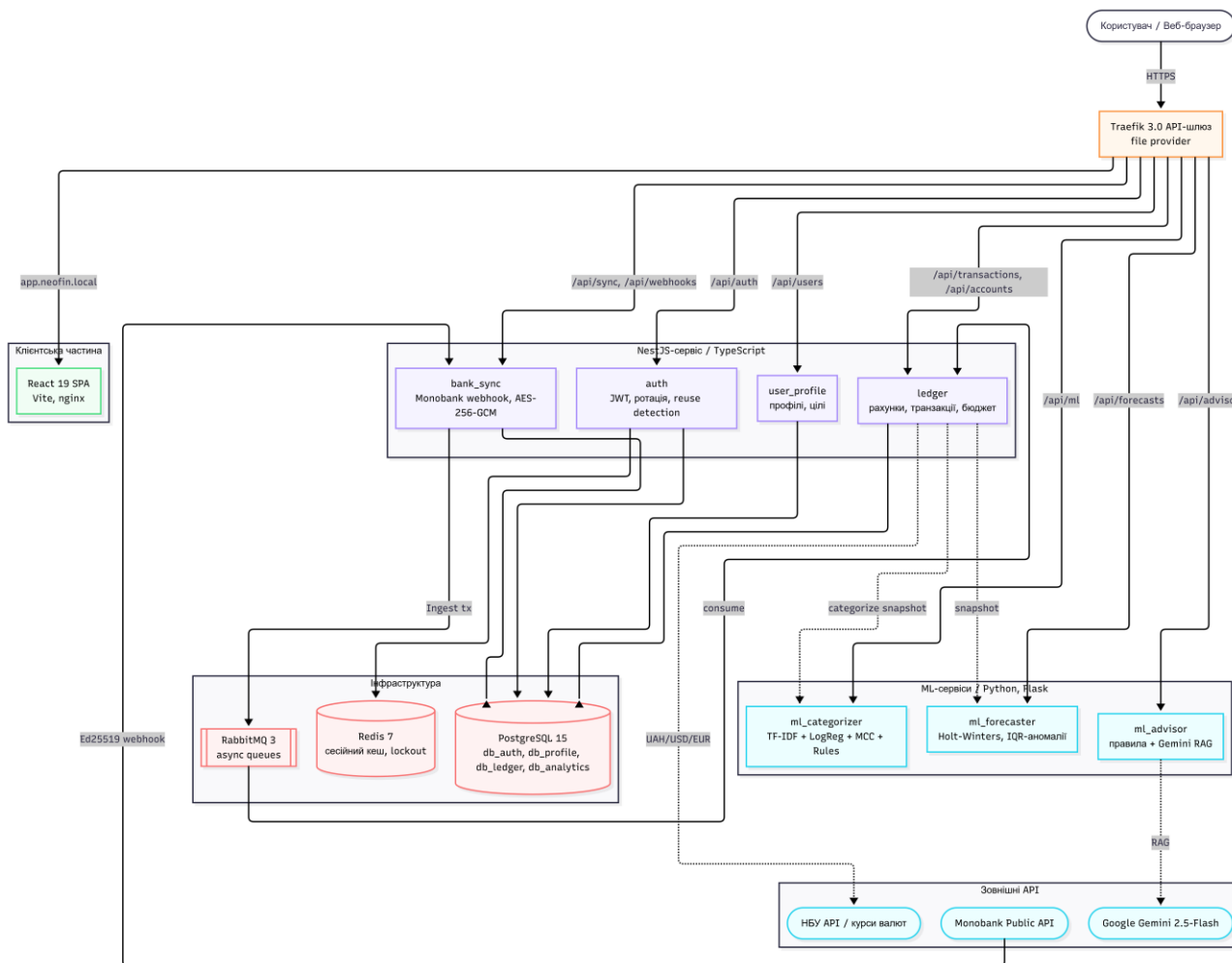


Рисунок 1 – Компонентна структура системи

Каскадний категоризатор операцій побудовано у вигляді трьох рівнів. На першому рівні застосовано пряму резолюцію коду MCC за стандартом ISO 18245: за наявності коду категорію визначено безпосередньо. У разі відсутності MCC задіяно класифікатор на основі векторизації опису операції методом TF-IDF з логістичною регресією. За умови недостатньої впевненості моделі спрацьовує механізм на основі правил, що використовує словник назв торговельних мереж.

Модуль прогнозування доходів і витрат реалізовано з адаптивним вибором методу залежно від довжини часового ряду: для рядів довжиною шість і більше точок використано метод експоненціального згладжування Гольта [5]; для коротших рядів застосовано лінійну регресію або ковзне середнє.

Діалоговий помічник побудовано на основі великої мовної моделі. Перед формуванням відповіді контекстний блок наповнено фактичними фінансовими даними користувача: балансами за рахунками, агрегатами витрат за категоріями, активними бюджетами. Такий підхід забезпечує формування рекомендацій на основі реальних показників.

Експериментальну перевірку алгоритмів категоризації здійснено на реальному наборі даних обсягом 3265 транзакцій за період 736 днів. Оцінювання алгоритмів виконано у двох режимах: за наявності банківських кодів категорій

торговця (МСС), що забезпечують безпомилкову ідентифікацію на першому рівні каскаду та становлять базовий рівень (baseline), а також виключно за текстовим описом операції (автономний текстовий режим, який імітує ручне введення даних або їх імпорт із джерел без МСС). Показники ефективності альтернативних методів класифікації в текстовому режимі подано в таблиці 1.

Таблиця 1 - Метрики методів категоризації у текстовому режимі

Метод	Accuracy, %	F1-weighted, %	F1-macro, %
TF-IDF + Linear SVM	88,16	89,15	71,69
TF-IDF + MultinomialNB	89,39	88,99	73,43
TF-IDF + LogReg	88,98	88,74	77,13
TF-IDF + RandomForest	87,55	88,81	71,36
Правиланий резолвер	28,98	29,29	45,72
Гібридний каскад (тільки текст, без МСС-кодів)	69,80	74,07	69,36

Як базовий класифікатор другого рівня каскаду (компонента машинного навчання) обрано модель логістичної регресії з ознаками TF-IDF. Цей вибір зумовлений її здатністю демонструвати найвищу ефективність за метрикою F1-macro (77,13%) в умовах вираженого класового дисбалансу.

Нижча ефективність каскадної моделі в суто текстовому режимі порівняно з логістичною регресією спричинена тим, що за низької впевненості базового класифікатора (коефіцієнт < 0,6) обробка транзакцій делегується правилковому модулю, який демонструє низьку точність на наявній вибірці. Водночас у повнофункціональному режимі, завдяки пріоритетному використанню банківських МСС-кодів, цей ефект відсутній, оскільки початковий етап каскаду забезпечує стовідсоткову точність категоризації.

Модуль прогнозування, реалізований із використанням схеми walk-forward валідації, забезпечує середню абсолютну відсоткову похибку прогнозування MAPE = 20,18 % для часових рядів обмеженого обсягу.

Детектор аномальних витрат на основі міжквартильного розмаху досягає метрики F1 = 28,38%, що приблизно вдвічі перевищує найближчу альтернативу.

За результатами дослідження реалізовано інтелектуальну мікросервісну систему аналізу, обліку та прогнозування особистих фінансів. До її складу входять засоби автоматизованої категоризації операцій, прогнозування грошового потоку, виявлення аномальних витрат та діалогова взаємодія з помічником. Каскадний категоризатор забезпечує стовідсоткову точність ідентифікації за наявності кодів категорій торговця (МСС); у початковому автономному текстовому режимі його компонент машинного навчання на основі логістичної регресії з ознаками TF-IDF досягає показників ефективності F1-weighted 88,74% та F1-macro 77,13%; прогностичний модуль забезпечує середню

абсолютну відсоткову похибку 20,18%; детектор аномалій перевершує найближчу альтернативу за метрикою F1 приблизно вдвічі.

Розроблений прототип може бути використаний як основа комерційного фінтех-сервісу, орієнтованого на український ринок, а також як експериментальна платформа для подальших ML-досліджень у галузі персональних фінансів.

Список використаних джерел

1. Стратегія розвитку фінтех в Україні до 2025 року. Національний банк України. Київ : НБУ, 2020. 32 с. URL: <https://bank.gov.ua/ua/about/develop-strategy/fintech2025>.
2. Mialon G., Dessì R., Lomeli M. et al. Augmented Language Models: a Survey. Transactions on Machine Learning Research. 2023. URL: <https://openreview.net/forum?id=jh7wH2AzKK>.
3. Lodderstedt T., Bradley J., Labunets A., Fett D. Best Current Practice for OAuth 2.0 Security. RFC 9700 (BCP 240). Internet Engineering Task Force, January 2025. 80 p. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc9700/>.
4. Dworkin M. NIST Special Publication 800-38D: Recommendation for Block Cipher Modes of Operation. Galois/Counter Mode (GCM) and GMAC. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2007. 39 p.
5. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. 442 p. URL: <https://otexts.com/fpp3/>.

УДК 004.9 : 004.5

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ПРОХОДЖЕННЯ AR-КВЕСТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОЛОКАЦІЇ

Савчук Дмитро Володимирович, студент,
savcukd11@gmail.com

Науковий керівник: Биковий Павло Євгенович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет,
pb@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5705-5702

Сучасний розвиток мобільних технологій та засобів доповненої реальності (Augmented Reality, AR) надає багато нових можливостей для гейміфікації таких сфер, як туризм і освіта. Поєднання AR-технологій з глобальним позиціонуванням дозволяє створювати імерсивні просторові сценарії, в яких віртуальні об'єкти інтегруються у фізичне середовище [1, 2]. Проте аналіз наявних рішень (наприклад, Pokémon GO або платформ для геокешингу) показав відсутність інструментів для простого створення власних AR-квестів з прив'язкою до координат місцевості. Більшість аналогів надають готові маршрути або не мають функціоналу доповненої реальності. Складніші системи розробки (Unity, Unreal Engine) потребують додаткових знань, що не є зручним для звичайного користувача.

З огляду на це, метою дослідження є проектування та реалізація мобільного застосунку, який дозволяє створювати, редагувати та проходити власні AR-квести з прив'язкою до координат місцевості.

Для реалізації застосунку обрано кросплатформне середовище Unity 3D (мова C#). Генерацію карти та отримання координат місцевості виконано за допомогою сервісу ArcGIS Maps. Для розпізнавання поверхонь та закріплення 3D-об'єктів у певній місцевості використовувався спеціалізований фреймворк Niantic Lightship ARDK [3-6].

Архітектуру розробленої системи поділено на три основні взаємопов'язані модулі: модуль управління даними, модуль створення сценаріїв та ігрову AR-сцену.

Модуль управління даними відповідає за доступ до бази даних та роботу з даними. Щоб уникнути використання централізованого серверу чи дорогих хмарних сервісів, для реалізації додатка було застосовано локальну СУБД SQLite. За допомогою цього усі дані про сценарії (опис, метадані, вибір 3D-моделі) зберігаються на пристрої. Цей модуль є основним для системи, адже сюди звертаються решта розділів при взаємодії з даними (CRUD операції, збереження та завантаження прогресу). Через відсутність централізованого

сервера обмін реалізовано за принципом Peer-to-Peer: система створює JSON-файл із даними квесту, який зберігається в пам'яті пристрою. Далі цей файл можна надіслати через будь-який месенджер та імпортувати в додатку іншого користувача.

Модуль створення сценаріїв є основним інструментом для авторів квесту. Цей розділ складається з двох підрозділів, в першому наданий функціонал створення та редагування самого квесту, а другий потрібен для позиціонування та налаштування точок інтересу.

Інтерфейс просторового конструктора базується на повноекранній інтерактивній карті, побудованій за допомогою ArcGIS. Автор може розміщувати точки інтересу на карті, налаштовувати для кожної: назву, опис, тип видимості (постійна, послідовна), 3D-модель. Усі допоміжні елементи реалізовані у вигляді панелей, які з'являються при натисканні відповідних кнопок, щоб не перекривати огляд карти.

Ігрова AR-сцена дозволяє проходити завантажені або створені квести. Для орієнтації та пошуку об'єктів гравець може використовувати міні-карту та динамічну 3D-стрілку. Ця сцена постійно обраховує відстані від користувача до об'єктів, контролюючи видимість об'єктів та зону взаємодії. Оскільки координати мають формат WGS 84 (широта та довгота), для визначення відстані використовується математична сферична модель (формула Гаверсінуса):

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right), \quad (1)$$

де φ – широта в радіанах;

λ – довгота в радіанах;

R – радіус Землі (~6371000 м).

Коли відстань d стає меншою за встановлений поріг (для видимості – 50 метрів), система починає рендерити віртуальний об'єкт за допомогою Lightship. Коли гравець наближається достатньо близько, він може взаємодіяти з точкою інтересу, після чого відкривається панель з інформацією та активується наступна точка.

Важливим елементом системи є сервіс перевірки підключення до мережі Інтернет та активності модуля GPS. При втраті підключення вмикається блокуюча панель з повідомленням для користувача. Цей сервіс працює у фоні весь життєвий цикл програми.

Екранні форми застосунок зображено на рисунку 1.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження розроблено мобільний застосунок, що об'єднує інструменти картографії та доповненої реальності. Запропонований підхід до управління даними (через SQLite та JSON-файли) звільняє розробників від необхідності підтримки серверної інфраструктури, водночас надаючи користувачам потужний конструктор для створення унікальних авторських маршрутів.

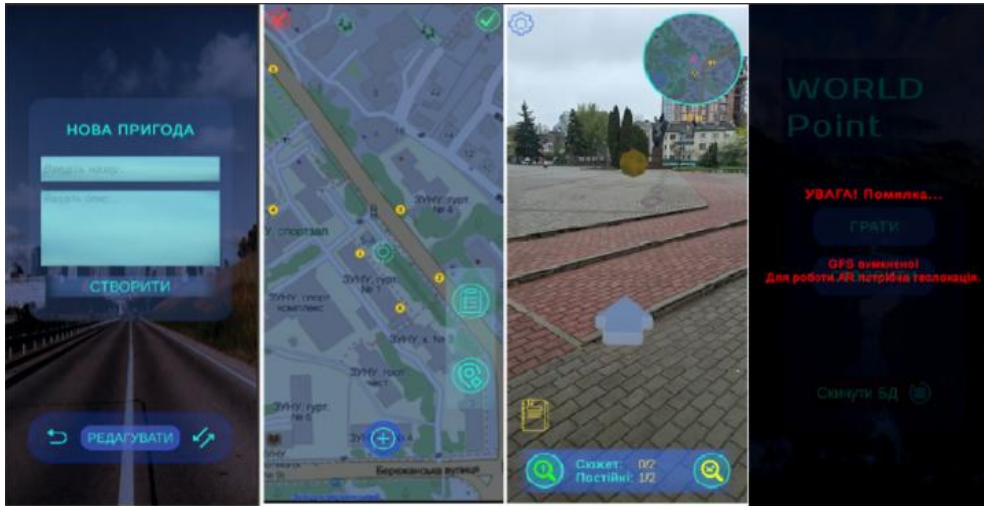


Рисунок 1 – Екранні форми розробленої системи

Рішення має значний практичний потенціал для впровадження у туристичній галузі та сфері неформальної освіти.

Список використаних джерел

1. Теслюк В. М., Гадьо І. В., Гавриляк Т. В., Пазюк О. В. Модель та засоби системи навігації між корпусами закладу освіти з використанням технології доповненої реальності. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024. Т. 6, № 1. С. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.086>.
2. Qiu Z., Mostafavi A., Kalantari S. Use of Augmented Reality in Human Wayfinding: A Systematic Review. *arXiv*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2311.11923> (дата звернення: 23.04.2026).
3. Niantic Spatial SDK Documentation. URL: https://www.nianticspatial.com/docs/nsdk/xr_settings/?platform=unity (дата звернення: 23.04.2026).
4. AR Foundation Documentation. URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@6.4/manual/> (дата звернення: 23.04.2026).
5. Шевчук Р., Тихий Р. Аналіз технології та інструментів для реалізації систем доповненої реальності. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2024. № 47(1). С. 66–77. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-66-77>.
6. Методи та програмні засоби формування доповненої реальності. URL: <https://ela.kpi.ua/items/6616966e-49c0-4000-afc8-be952b57b217> (дата звернення: 23.04.2026).

СЕКЦІЯ
ПРОЄКТНО-ОРИЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТА
ПРОЦЕСИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ / PROJECT-
ORIENTED MANAGEMENT AND DECISION-
MAKING PROCESSES

UDC 005.334:005.8:330.322:004.8

INFRASTRUCTURE OBEYS PHYSICS: SYSTEMS ENGINEERING IN THE AGE OF AI

Mike Richardson,
Visiting Scientist, Fraunhofer Institute for
Reliability and Microintegration (IZM),
Berlin, Germany
mike4tech@gmail.com

1. Introduction

Software temporarily escaped physical constraints during the cloud era. Artificial intelligence and infrastructure-scale systems are forcing engineering discipline back into project management.

From approximately 2008 through 2022, software development operated under incentive structures optimized for velocity, abstraction, and rapid iteration. Continuous deployment, rollback culture, cheap cloud compute, and platform abstraction reduced the immediate operational cost of architectural mistakes. These approaches produced genuine productivity gains within the economics of that period.

The assumptions that governed web-scale consumer software do not transfer cleanly into systems where software operates as infrastructure. Once software controls transportation, hospitals, industrial automation, drones, energy grids, semiconductor tooling, or AI inference at scale, defects become physical consequences rather than digital inconvenience. Artificial intelligence accelerates this transition because it reintroduces physical constraints that software culture had partially abstracted away. Compute is finite. Latency matters. Cooling matters. Energy matters. GPU supply chains matter. Token usage carries real infrastructure cost. Modern technical project management increasingly resembles systems engineering rather than pure feature iteration.

2. Hardware Discipline Maps Directly to Software

Hardware engineering discipline transfers directly into modern software and AI infrastructure practice. The terminology changed during the cloud era. The operational realities did not.

Engineers working in semiconductor manufacturing, avionics, photonics, or industrial systems learn quickly that abstraction layers do not remove physical consequences. Thermal limits remain thermal limits. Timing constraints remain timing constraints. Interface instability remains instability. During the cloud era, many software organizations evolved within environments where rollback capability and rapid deployment reduced the short-term penalty for poor architectural decisions. Hardware-oriented industries could not operate this way because their systems required qualification testing, release discipline, interface freezes, and validation gates. That distinction is disappearing as AI systems migrate from consumer software into infrastructure-scale operational environments (Table 1).

Table 1 – Comparative characteristics of engineering approaches in hardware and software environments

Hardware Discipline	Software Equivalent
Tape-out freeze	API freeze
Yield management	Reliability engineering
Supply chain management	Dependency management
Qualification testing	CI/CD validation
Thermal budget	Compute budget
Fault isolation	Service isolation
Manufacturing tolerances	Edge-case handling

Modern AI systems operate under bandwidth limitations, inference latency requirements, GPU allocation constraints, memory locality considerations, cooling capacity, electrical availability, and orchestration overhead. The abstraction layer still exists, but physical infrastructure increasingly determines what systems are economically viable. Software engineering is converging back toward systems engineering.

3. AI as Infrastructure

The transition from software product to infrastructure system is one of the defining engineering shifts of the AI era. The Boeing 737 MAX failures and the 2024 CrowdStrike outage illustrate different versions of the same systems problem. In both cases, software operated as infrastructure while portions of the organizational process continued treating elements of the stack as low-consequence software layers. Agile methods did not fail. Methodology must match operational layer.

Rapid iteration remains highly effective where rollback cost is low and system consequences remain bounded. Systems engineering discipline becomes mandatory where software interacts with physical infrastructure, industrial systems, or high-dependency operational environments. The same transition is occurring inside AI infrastructure. Probabilistic outputs, orchestration complexity, GPU scarcity, energy requirements, and evaluation instability reintroduce engineering constraints that much of software culture had partially abstracted away during the cloud era.

3.1 Tokens Are Not Abstract

Current AI discourse treats tokens as abstract computational units detached from physical infrastructure. Tokens are not abstract. Tokens are electricity, cooling, silicon utilization, network transit, and time expressed through software interfaces. Every unnecessary inference pass, repeated prompt cycle, orchestration failure, or oversized context window consumes physical infrastructure resources somewhere within the system. Poor orchestration and uncontrolled iteration are infrastructure inefficiencies disguised as software convenience.

Iteration itself is not the problem. Iteration remains valuable for experimentation and discovery. The question is whether iteration occurs with awareness of infrastructure cost. A poorly orchestrated AI system may consume enormous context

windows while generating low-value output, unstable retrieval behavior, or redundant inference passes. A well-structured system can achieve superior results using significantly fewer resources. Bandwidth does not equal throughput. Clock speed does not equal capability. FLOPS do not equal system quality. Token volume does not equal intelligence.

Uncontrolled AI iteration resembles repeatedly boiling unnecessary kettles of water. The user experiences only the interface layer while the underlying infrastructure absorbs the physical cost through electricity, cooling, networking, silicon utilization, and data-center operations. AI hides thermodynamics behind user experience. As AI systems scale, the organizations that survive economically will be those that treat compute as infrastructure rather than magic.

4. Resource Allocation and Reliability

Modern AI systems resemble constrained resource-allocation systems. Large-scale AI infrastructure distributes finite computational resources across competing functions: compute and inference, validation and guardrails, retrieval and orchestration, monitoring and rollback, evaluation and testing, and operational headroom. This pattern is not unique to computing. Biological systems solve structurally similar allocation problems under finite energy budgets, a parallel formalized by Kleiber and developed by West, Brown, and Enquist [10].

Many current AI systems allocate disproportionate resources toward raw generation while underinvesting in validation, orchestration, monitoring, and evaluation. The failure modes are familiar: hallucination, drift, adversarial brittleness, orchestration collapse, unreliable automation, and security instability. Validation, orchestration, monitoring, and operator oversight are not secondary implementation details. They are core infrastructure functions carrying real computational and operational cost. AI infrastructure behaves more like industrial infrastructure than traditional software tooling.

5. The Return of Technical Project Management

The cloud era partially separated technical project management from deep systems awareness. Infrastructure abstraction reduced visibility into hardware constraints and encouraged organizational focus on delivery cadence, coordination velocity, and feature iteration. AI infrastructure reverses this separation.

Modern technical project managers require operational awareness of compute allocation, orchestration topology, inference economics, GPU procurement constraints, thermal and power limitations, integration dependencies, probabilistic system behavior, and validation burden. Technical project management is converging back toward systems engineering. Organizations require personnel capable of stabilizing generated code, validating orchestration behavior, debugging probabilistic outputs, and integrating heterogeneous AI systems into existing operational infrastructure. These roles are not entirely new. They are modern expressions of older engineering disciplines: validation, integration, reliability engineering, systems coordination, and operator oversight.

Technical project management is returning as a systems discipline. Modern AI infrastructure projects require architecture discipline, interface control, validation

gates, orchestration awareness, resource accounting, integration management, and failure-mode analysis. Iterative development and systems engineering apply to different layers of the same system. Rapid iteration remains effective for user-interface refinement, experimental workflows, feature exploration, and product discovery. Systems engineering discipline is mandatory where software interacts with physical infrastructure, safety-critical systems, industrial automation, defense systems, large-scale AI infrastructure, or high-cost compute environments. The cloud era rewarded abstraction-first thinking. The AI infrastructure era rewards constraint-aware thinking.

6. Conclusion

AI did not eliminate systems engineering. It made systems engineering mandatory again. The cloud era produced major advances in deployment speed, experimentation, and software iteration. Those gains remain valuable where the underlying economics support them. AI systems operate under physical constraints that abstraction layers cannot remove. Compute has cost. Energy has cost. Cooling has cost. Latency has cost. Poor orchestration has cost. As software becomes infrastructure, engineering discipline returns. The future is neither pure waterfall nor pure agile. The future is hybrid. Iterative development and systems engineering coexist at different layers of the same system. Organizations that recognize this transition early will build more resilient, more efficient, and more sustainable AI infrastructure during the coming decade. Infrastructure obeys physics whether developers acknowledge it or not.

References

1. INCOSE. (2023). *Systems engineering handbook* (5th ed.). Wiley.
2. ISO/IEC/IEEE. (2023). *ISO/IEC/IEEE 15288:2023: Systems and software engineering – System life cycle processes*.
3. Leveson, N. (2012). *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety*. MIT Press.
4. Forsgren, N., Humble, J., & Kim, G. (2018). *Accelerate: The science of lean software and DevOps: Building and scaling high performing technology organizations*. *IT Revolution Press*.
5. CrowdStrike Holdings. (2024). *Falcon content update: Preliminary post incident report*.
6. U.S. House Committee on Transportation and Infrastructure. (2020). *Final committee report: The design, development, and certification of the Boeing 737 MAX*.
7. Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M., & Dean, J. (2021). Carbon emissions and large neural network training. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2104.10350>
8. Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 3645–3650.
9. International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA.
10. West, G. B., Brown, J. H., & Enquist, B. J. (1997). A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*, 276(5309), 122–126.

УДК 005.334:330.322:004.89

АДАПТИВНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

Петруха Ніна Миколаївна, магістрант,
nninna1983@gmail.com

Науковий керівник: Дзюбановська Наталія Володимирівна,
д.е.н., професор, в.о. завідувача кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
n.dziubanovska@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8441-5216

В умовах високої невизначеності економічного середовища ефективно управління інвестиційними проєктами потребує застосування сучасних підходів до оцінювання ризиків, здатних враховувати динамічність зовнішнього середовища, багатофакторність проєктної діяльності та необхідність оперативного прийняття управлінських рішень. Традиційні методи оцінювання ризиків, що базуються на експертних оцінках, сценарному аналізі та класичних економіко-математичних моделях, залишаються актуальними, проте їх застосування часто є недостатнім в умовах швидкої зміни параметрів інвестиційного середовища [1, 2].

Сучасні наукові публікації акцентують увагу на доцільності використання інтелектуалізованих підходів до оцінювання ризиків інвестиційних проєктів. Так, у роботі Собко Ю. запропоновано використання технологій штучного інтелекту для ідентифікації, прогнозування та моніторингу ризиків інвестиційних проєктів [3]. Чубукова О. та співавтори обґрунтовують доцільність застосування науки про дані та методів машинного навчання для аналізу ризиків на основі великих масивів даних [4]. У дослідженнях, присвячених цифровому оцінюванню проєктів, також акцентовано увагу на використанні великих масивів даних, аналітичних платформ та інтелектуальних систем підтримки рішень [5]. Полікритеріальні підходи до оцінювання ефективності проєктів із урахуванням ризикових індикаторів представлено у роботах Отенко І. та співавторів [6], тоді як Тригуба А. та співавтори демонструють можливість поєднання методів багатокритеріального оцінювання, нечіткої логіки, сценарного моделювання та портфельної оптимізації для комплексного оцінювання проєктних рішень [7]. Окремі дослідження також підкреслюють важливість адаптивного ризик-менеджменту в умовах високої невизначеності [8].

Разом із тим проведений аналіз наукових джерел дає підстави стверджувати, що наявні підходи до оцінювання ризиків інвестиційних проєктів переважно зосереджені на застосуванні окремих аналітичних інструментів або оцінюванні

конкретних груп ризиків, що обмежує можливості комплексного управління в умовах динамічного проєктного середовища. За таких умов актуалізується потреба у формуванні цілісного підходу, здатного поєднати методи аналізу даних, багатокритеріальну оцінку та механізми адаптивного коригування управлінських рішень.

З огляду на це, запропоновано концептуальну адаптивну інтелектуальну модель оцінювання ризиків інвестиційних проєктів (рисунок 1), основу якої становить інтеграція системи ризикових індикаторів, засобів інтелектуального опрацювання даних, багатокритеріального оцінювання та механізму динамічного оновлення результатів аналізу.



Рисунок 1 – Концептуальна схема адаптивної інтелектуальної моделі оцінювання ризиків інвестиційних проєктів

Модель відображає послідовність оцінювання ризиків, що базується на комплексному врахуванні зовнішніх і внутрішніх факторів проєктного середовища, які формують динамічні параметри ризику. Її ключовою характеристикою є адаптивний механізм коригування результатів оцінювання відповідно до змін вхідних параметрів, що забезпечує актуальність аналітичних висновків у процесі реалізації інвестиційного проєкту. Важливою складовою є безперервний зворотний інформаційний зв'язок між результатами оцінювання ризиків та управлінськими рішеннями, що підвищує гнучкість системи ризик-менеджменту та сприяє оперативному реагуванню на потенційні загрози.

Практична орієнтація моделі полягає в тому, що вона не обмежується фіксацією поточного рівня ризику, а передбачає трансформацію аналітичних результатів у конкретні управлінські дії. Зокрема, залежно від отриманої оцінки ризикового профілю проєкту можуть обґрунтуватися рішення щодо перегляду бюджету, зміни строків реалізації, посилення контролю за критичними етапами, залучення страхових або гарантійних механізмів, а також доцільності подальшого інвестування. Саме це забезпечує прикладний характер моделі та її зв'язок із процесом прийняття інвестиційних рішень.

Таким чином, сформована концептуальна модель створює основу для систематизації оцінювання ризиків інвестиційних проєктів та підвищення обґрунтованості управлінських рішень. Її використання може сприяти зниженню рівня невизначеності, своєчасному виявленню критичних ризикових факторів, мінімізації потенційних фінансових втрат і підвищенню ефективності реалізації інвестиційних проєктів.

Запропонований підхід формує основу для подальшого поглиблення дослідження ризиків інвестиційних проєктів у контексті застосування інтелектуального аналізу даних. Його використання дає змогу перейти від загального опису ризикових факторів до побудови адаптивної системи їх оцінювання, прогнозування та управлінського реагування.

Список використаних джерел

1. Перерва П. Управління інноваційною та інвестиційною діяльністю бізнес-структур: оцінювання та страхування ризиків. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» (економічні науки)*. 2025. № 4. С. 67–74. DOI: <https://doi.org/10.20998/2519-4461.2025.4.67>
2. Полозова Т. В., Худяков Д. Л. Теоретико-методичні аспекти оцінки ефективності інноваційно-інвестиційних проєктів. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2025. № 2(9). С. 424–433. DOI: [https://doi.org/10.60022/2\(9\)-49S](https://doi.org/10.60022/2(9)-49S)
3. Собко Ю. Г. Моделювання ризиків у процесі управління інвестиційними проєктами з використанням штучного інтелекту. *Академічні візії*. 2025. № 48. URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/2276>
4. Чубукова О. Ю., Пономаренко І. В., Домантович О. П. Використання Data Science для оцінювання ризиків. *Інфраструктура ринку*. 2020. Вип. 47. С. 129–132. DOI: <https://doi.org/10.32843/infrastructure47-24>.
5. Приходько Д., Кузьміч Я., Коломієць В., Штиль А. Аналіз сучасних підходів до оцінювання будівельних проєктів у цифровому середовищі. *Просторовий розвиток*. 2025. № 13. С. 391–405. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.13.391-405>
6. Отенко І., Кирик Я., Петренко О., Гулієв Я., Демчук А., Кацюба І. Науково-прикладні компоненти полікритеріальної системи діагностики організаційно-технологічних та економіко-управлінських рішень у будівельному девелопменті. *Просторовий розвиток*. 2025. № 11. С. 474–488. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.474-488>
7. Тригуба А., Шолудько Р., Маланчук О., Тригуба І. Інтелектуально-ціннісний підхід до оцінювання цінності проєктів розвитку медичної інфраструктури територіальних громад. *Управління розвитком складних систем*. 2025. № 63. С. 127–136. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.63.127-136>
8. Древнов І. Д. Оцінка ризиків в управлінні портфелем проєктів в умовах високої невизначеності в інтелектуальному бізнесі. *Економічна парадигма*. 2024. № 2(8). С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-8-10222>

СЕКЦІЯ
ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АНАЛІТИКА ДАНИХ І
КІБЕРНЕТИКА / ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DATA
ANALYTICS, AND CYBERNETICS

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TABULAR COMPUTING PLATFORM BASED ON SEMANTIC QUERIES

Mykhailo Rokosh, PhD student,
mykhailo.rokosh@tntu.edu.ua

Scientific supervisor: Mykola Pryimak,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Computer Systems and Networks,
Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
pmw.ukr@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0395-5879

Electronic spreadsheets remain one of the most widely used tools for working with data in business, education, finance, analytics, and research. They are popular because they are accessible, flexible, and allow users to organize information, calculate values, prepare reports, and build analytical models without developing specialized software. However, the basic logic of spreadsheet interaction still depends mainly on formulas. Traditional formulas are powerful, but they require users to know exact syntax, understand cell references, and build expressions correctly. Even common business tasks may involve nested conditions, lookup functions, regular expressions, or macros. This creates difficulties for users who work with data but are not professional programmers.

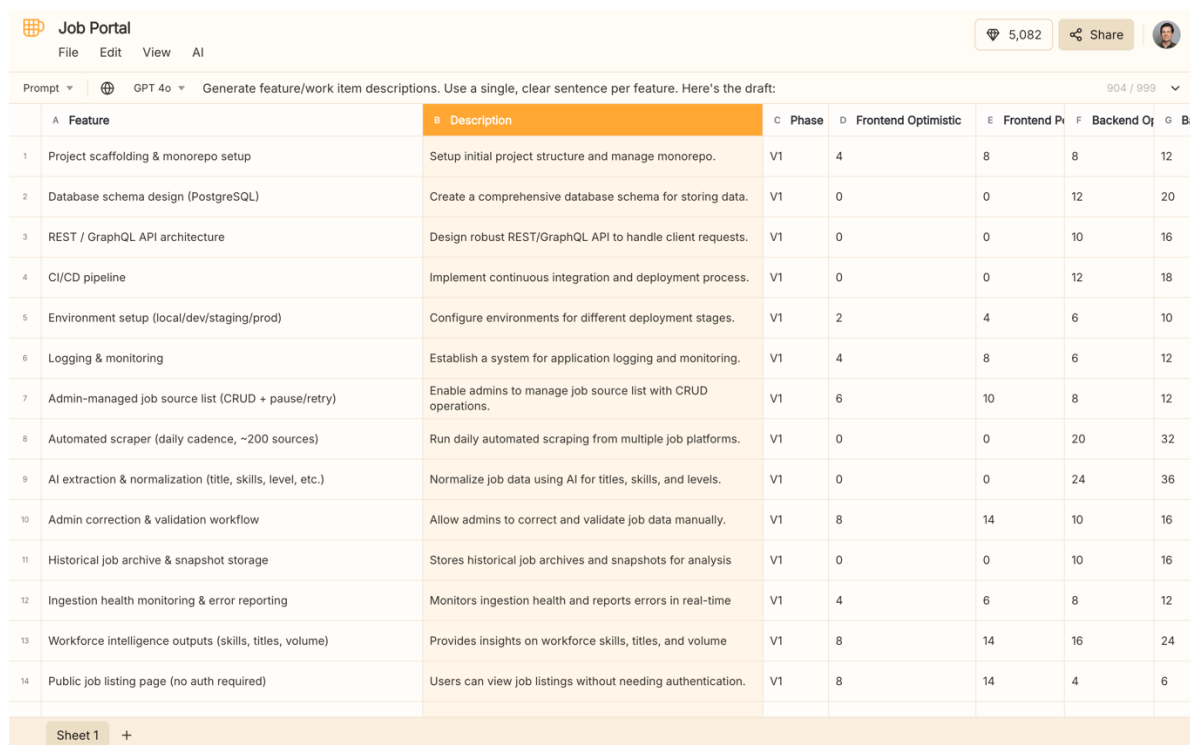
This limitation becomes more visible when spreadsheets are used to process unstructured or semi-structured data, such as customer reviews, emails, product descriptions, company profiles, survey answers, and support requests. Classical formulas can compare exact values or search for predefined fragments, but they cannot reliably understand meaning, detect emotional tone, summarize text, or classify information according to business context.

The development of large language models has created new opportunities for tabular computing. Recent studies show that such models are increasingly used for table understanding, spreadsheet manipulation, question answering, and semantic processing of structured and semi-structured data [1]. This allows spreadsheets to evolve from deterministic calculation tools into intelligent environments where users describe the desired result in natural language.

The purpose of this work is to describe the concept and development of TableBrew, an intelligent SaaS platform for tabular computing based on semantic queries. TableBrew combines the familiar spreadsheet structure of rows, columns, and cells with generative artificial intelligence. The platform allows users to clean, classify, enrich, translate, summarize, and generate data directly inside a table (Figure 1).

The key concept of TableBrew is Prompt-as-Formula. In a traditional spreadsheet, the user enters a formula with operators, functions, and cell references. In TableBrew,

the user enters a natural language instruction that describes the expected result. For example, if a table contains customer reviews, the user can create a column called “Sentiment” and enter the instruction: “Analyze the review text and return Positive, Negative, or Neutral.” The system selects the relevant context, sends a structured request to a language model, and writes the generated result into the corresponding cell.



A	B	C	D	E	F	G	Ba
1	Project scaffolding & monorepo setup	Setup initial project structure and manage monorepo.	V1	4	8	8	12
2	Database schema design (PostgreSQL)	Create a comprehensive database schema for storing data.	V1	0	0	12	20
3	REST / GraphQL API architecture	Design robust REST/GraphQL API to handle client requests.	V1	0	0	10	16
4	CI/CD pipeline	Implement continuous integration and deployment process.	V1	0	0	12	18
5	Environment setup (local/dev/staging/prod)	Configure environments for different deployment stages.	V1	2	4	6	10
6	Logging & monitoring	Establish a system for application logging and monitoring.	V1	4	8	6	12
7	Admin-managed job source list (CRUD + pause/retry)	Enable admins to manage job source list with CRUD operations.	V1	6	10	8	12
8	Automated scraper (daily cadence, ~200 sources)	Run daily automated scraping from multiple job platforms.	V1	0	0	20	32
9	AI extraction & normalization (title, skills, level, etc.)	Normalize job data using AI for titles, skills, and levels.	V1	0	0	24	36
10	Admin correction & validation workflow	Allow admins to correct and validate job data manually.	V1	8	14	10	16
11	Historical job archive & snapshot storage	Stores historical job archives and snapshots for analysis	V1	0	0	10	16
12	Ingestion health monitoring & error reporting	Monitors ingestion health and reports errors in real-time	V1	4	6	8	12
13	Workforce intelligence outputs (skills, titles, volume)	Provides insights on workforce skills, titles, and volume	V1	8	14	16	24
14	Public job listing page (no auth required)	Users can view job listings without needing authentication.	V1	8	14	4	6

Figure 1 - General view of the TableBrew spreadsheet interface

This approach changes the logic of spreadsheet work. The user no longer needs to describe how the value should be calculated step by step. Instead, the user explains what the value should represent. This reduces the technical barrier for working with data and makes spreadsheets more suitable for tasks that require interpretation, context awareness, and language understanding.

TableBrew follows the broader direction of AI-based spreadsheet agents. For example, SheetAgent demonstrates how large language models can support reasoning and manipulation in spreadsheet tasks that require planning and multi-step execution [2]. TableBrew focuses on a practical interface where semantic operations are integrated directly into the spreadsheet workflow and remain understandable for non-technical users.

The platform supports three main groups of semantic operations. The first group is data cleaning and normalization: correcting text errors, standardizing names, extracting parts of a value, converting formats, and removing unnecessary fragments. The second group is classification and analysis: detecting sentiment, urgency, topic, category, or lead relevance. The third group is generation and enrichment: creating descriptions, personalized messages, missing values, comparison tables, and additional context.

The main advantage of semantic spreadsheet processing is the ability to work with meaning rather than only with formal values. A traditional formula follows fixed rules. A language model can consider word meaning, relationships between columns, task purpose, and row context. For example, if a row contains a company name, website, industry, and short description, the system can generate a sales note or classify the company by potential relevance. This makes the spreadsheet more useful for business analytics and knowledge work.

TableBrew is implemented as a modern web application. The client side is based on React, which supports component-based interface development and efficient state management [4]. The main technical challenge is rendering performance because large spreadsheet interfaces can become slow when every cell is represented as a separate HTML element. To solve this, TableBrew uses the Glide Data Grid library, which is designed for high-performance spreadsheet-like interfaces with virtualization [5].

The central interaction mechanism in TableBrew is the “=” operator. In traditional spreadsheets, this symbol starts a formula. In TableBrew, it can also start a semantic query. For example, the instruction “=translate the product description into English” activates an AI generation process. The system collects relevant context, sends the request to the language model, and places the result into the cell.

To improve output reliability, TableBrew can use structured response formats. Many spreadsheet tasks require predictable values, such as categories, labels, JSON objects, or fields with a fixed schema. Structured generation reduces formatting errors and simplifies the use of AI responses in the table interface [3]. For example, when classifying a record, the model can be instructed to return only one allowed label.

A major technical problem in semantic spreadsheets is context size. Sending an entire table to a language model for every request is inefficient and expensive. For this reason, TableBrew uses contextual selection. Before sending a request, the system analyzes the current row, column names, user instruction, and related values. It then selects only the information that is most likely to be useful for the answer. This reduces token usage, improves response time, lowers cost, and helps the model focus on relevant data.

Data persistence is implemented using Google Cloud Firestore. Firestore supports cloud synchronization, document-based storage, real-time updates, transactions, and batched writes. In TableBrew, it is used to store user edits, AI-generated values, workspace settings, and credit usage. The platform also supports automatic saving and undo/redo functionality, which is important because users often test prompts, compare generated results, and return to previous versions.

TableBrew is also designed for organized and controlled work with data. Tables can be grouped into workspaces that represent projects, departments, clients, or research tasks. Since spreadsheets may contain confidential or personal information, the platform must isolate workspace data, control access through user roles, and prevent user data from being used for model training without explicit consent. Cost control is handled through a metered credit system, where each AI operation consumes a defined number of credits. Firestore transactions can be used to check balance and update credit usage consistently.

The development of the TableBrew application shows several limitations of semantic spreadsheet systems. Generated outputs can be inaccurate if the prompt is unclear or the context is incomplete. AI operations are also slower than ordinary formulas because they depend on external model inference. In addition, processing sensitive data through AI services creates privacy and compliance risks. Therefore, the platform must support result review, editing, regeneration, loading indicators, output validation, and proper safeguards for sensitive information.

Recent research confirms that real-world spreadsheets can be difficult for language models to understand because they often include complex layouts, multiple regions, formulas, and implicit structure [6]. This supports the need for context selection, structured reasoning, and validation mechanisms. A practical semantic spreadsheet should not simply send raw table data to a model. It should prepare the context, guide the model, check the result, and present the output in a way that users can understand.

Despite these challenges, semantic spreadsheets have clear practical value. Sales managers can classify leads, create personalized outreach messages, and summarize customer information. Marketers can generate product descriptions, segment audiences, and analyze survey responses. Researchers can clean text datasets and extract structured information. Business analysts can combine structured and unstructured data without writing scripts. In each case, users work at a higher level of abstraction and spend less time on repetitive technical operations.

In conclusion, TableBrew demonstrates how generative artificial intelligence can extend the traditional spreadsheet model. The platform combines tabular structure, natural language interaction, cloud persistence, high-performance rendering, and semantic data processing. This makes it possible to move from rigid formulas to flexible user intentions. The spreadsheet becomes not only a calculation tool, but also an intelligent assistant for understanding, transforming, and enriching data.

References

1. Lu, W., Zhang, J., Fan, J., Fu, Z., Chen, Y., & Du, X. (2025). Large language model for table processing: A survey. *Frontiers of Computer Science*, 19, Article 192350. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11704-024-40763-6> (дата звернення: 05.05.2026).
2. Chen, Y., Yuan, Y., Zhang, Z., Zheng, Y., Liu, J., Ni, F., & Hao, J. (2024). SheetAgent: Towards a generalist agent for spreadsheet reasoning and manipulation via large language models. arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.03636> (дата звернення: 05.05.2026).
3. OpenAI. (2026). Structured model outputs. OpenAI API Documentation. URL: <https://platform.openai.com/docs/guides/structured-outputs> (дата звернення: 05.05.2026).
4. React. (2026). React documentation. URL: <https://react.dev/> (дата звернення: 08.05.2026).
5. Glide Data Grid. (2026). Glide Data Grid documentation. URL: <https://docs.grid.glideapps.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
6. Ren, H., Zhan, M., Lu, Z., Wang, K., Yang, Y., Hou, H., & Li, H. (2026). Towards robust real-world spreadsheet understanding with multi-agent multi-format reasoning. arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2604.12282> (дата звернення: 08.05.2026).

УДК 004.5:004.8

ІНТЕРАКТИВНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ВЗАЄМОДІЇ КОРИСТУВАЧА З ІГРОВИМ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Беднарчук Назар Юрійович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
medikass2003@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Ігрові середовища виступають зручною платформою для дослідження взаємодії між людиною та штучним інтелектом, оскільки поєднують формалізовані правила, значний обсяг поведінкових даних і можливість оперативного експериментування з різними моделями взаємодії, зокрема суперництва, співпраці, наставництва, змішаної ініціативи та адаптивної взаємодії. Сукупність вимог до методів такої взаємодії, серед яких адаптивність, прозорість, збалансованість ролей, ефективність, масштабованість і орієнтація на користувацький досвід, формує практичну основу для проектування інтелектуальних ігрових систем у вебсередовищах та багатожанрових застосуваннях, сприяючи підвищенню рівня залученості користувачів, якості взаємодії та етичної відповідальності [1].

Зростання складності сучасних комп'ютерних ігор та збільшення обсягів інтерактивного контенту призводить до підвищення вимог до якості взаємодії користувача з ігровим середовищем. Традиційні підходи до реалізації ігрового штучного інтелекту [2] часто базуються на заздалегідь визначених сценаріях, що призводить до передбачуваності поведінки неігрових персонажів та зниження рівня залученості користувача. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають інтерактивні програмні системи, здатні адаптуватися до індивідуального стилю гравця та забезпечувати динамічну взаємодію в реальному часі [3].

Метою цього дослідження є розробка інтерактивної програмної системи, яка забезпечує інтелектуальну обробку дій користувача та формування адаптивної поведінки ігрового штучного інтелекту на основі аналізу стану ігрового середовища та використання сучасних алгоритмів прийняття рішень.

Розроблена система базується на модульному підході (рисунок 1), що забезпечує гнучкість та легкість розширення функціоналу. Основу системи складають кілька логічно пов'язаних рівнів:

– рівень даних забезпечує збереження інформації про попередні взаємодії користувача, параметри ігрового середовища та внутрішні стани агентів, що дозволяє реалізувати механізми персоналізації та уникати повторюваних сценаріїв поведінки;

– рівень обробки дій користувача виконує аналіз вхідних сигналів, таких як переміщення, вибір об'єктів або інші дії, та перетворює їх у формалізовані параметри, що використовуються для прийняття рішень ігровими агентами;

– рівень штучного інтелекту реалізує алгоритми прийняття рішень, які можуть включати дерева поведінки, скінченні автомати або методи навчання з підкріпленням. Цей рівень відповідає за формування адаптивної поведінки NPC на основі поточного стану гри та історії взаємодії.

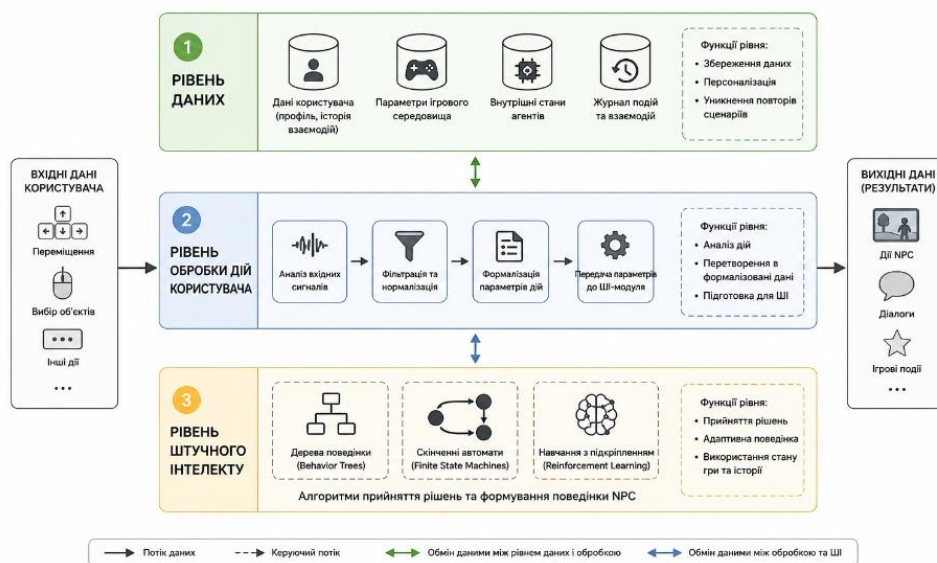


Рисунок 1 – Архітектура інтерактивної системи взаємодії користувача з ігровим штучним інтелектом

Завдання полягає у перетворенні дій користувача та станів ігрового середовища у формалізовані вхідні дані для системи штучного інтелекту. У розробленій системі реалізовано декілька підходів до обробки взаємодії:

– перший підхід полягає в адаптації поведінки агентів до стилю гри користувача. Система аналізує послідовності дій гравця та визначає характерні патерни поведінки, що дозволяє ігровому штучному інтелекту змінювати тактику у відповідь на дії користувача [4];

– другий підхід полягає у зчитуванні результатів гравця під час гри, наскільки той агресивний із противниками, як довго проходить рівень, скільки раз він помирає між початком та перемогою, що у відповідь заставляє світ адаптуватися, роблячи неігрових персонажів сильнішими та більш згуртованими [5];

– третій підхід базується на використанні історії взаємодії, що дає змогу уникати повторюваних дій і забезпечує більш персоналізований ігровий досвід. Збереження даних про попередні стани та рішення дозволяє системі поступово вдосконалювати свою поведінку [6-7].

Програмна реалізація системи інтегрована з ігровим рушієм та підтримує обробку дій користувача в реальному часі. Використання асинхронних механізмів обробки дозволяє системі ефективно реагувати на зміни ігрового середовища без затримок, що є важливим для забезпечення плавного ігрового процесу. У таблиці 1 представлено характеристики компонентів інтерактивної програмної системи.

Таблиця 1 – Характеристики компонентів програмної системи

Компонент	Технологія	Функція
Core Language	C#	Основна мова ігрового рушія
AI Framework	Unity Machine Learning Agents Toolkit (ML-Agents)	Набір інструментів для навчання ШІ у середовищі Unity[8]

Практичне значення полягає у створенні програмної системи, яка може бути використана для розробки ігор з високим рівнем інтерактивності та адаптивності. Модульна архітектура дозволяє інтегрувати додаткові алгоритми штучного інтелекту або розширювати функціональність без значних змін у структурі системи.

Висновки. Розроблена інтерактивна програмна система взаємодії користувача з ігровим штучним інтелектом забезпечує адаптивну обробку дій користувача та формування динамічної поведінки ігрових агентів. Використання модульної архітектури та сучасних підходів до реалізації штучного інтелекту дозволило створити ефективну систему, що підвищує рівень залученості користувача та покращує якість ігрового процесу. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання методів машинного навчання для більш глибокого аналізу поведінки користувача та підвищення рівня адаптивності системи.

Список використаних джерел

1. Божигора Ю., Турченко І. Методи та моделі взаємодії користувача з ігровими агентами штучного інтелекту. Наукові інновації: теоретичні підходи та практичний вплив: матеріали наук.-практ. конф. (8-10.12.2025 р., Неаполь. Італія). Неаполь. 2025. С. 160-163. URL: https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/12/Naples_Italy_08.12.25.pdf
2. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, 2020. 1166 p.
3. Millington I., Funge J. Artificial Intelligence for Games. 2nd ed. CRC Press, 2009. 895 p.
4. Yannakakis G. N., Togelius J. Artificial Intelligence and Games. Springer, 2018. 359 p.
5. Fisher N. Dynamic Difficulty Adjustment in Games: Concepts, Techniques, and Applications. *IntechOpen*. 2026. URL: <https://www.intechopen.com>.
6. Freeman E., Robson E. Head First Design Patterns: Building Extensible and Maintainable Object-Oriented Software. O'Reilly Media, 2020. 694 p.
7. Zhang S., Yao L., Sun A., Tay Y. Deep Learning based Recommender System: A Survey and New Perspectives. *ACM Computing Surveys*. 2019. Vol. 52, no. 1. Art. 5. URL: <https://doi.org/10.1145/3285029>
8. ML-Agents Toolkit Documentation, 2024. URL: <https://unity-technologies.github.io/ml-agents/ML-Agents-Toolkit-Documentation/>

УДК 004.8: 681.3

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КАЛОРІЙНОСТІ СТРАВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Вороновський Володимир Васильович, студент
volodimir.voronovskiy@gmail.com

Коваль Василь Сергійович,
к.т.н, доц., доц. кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
vko@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4726-097X

У сучасних умовах цифровізації та зростання уваги до здорового способу життя автоматизація контролю харчування набуває особливої актуальності. Одним із ключових завдань є визначення калорійності страв на основі зображень, що дозволяє спростити ведення харчових щоденників та підвищити точність оцінки енергетичної цінності продуктів. На відміну від традиційних підходів, що базуються на ручному введенні даних, використання методів комп'ютерного зору забезпечує більш швидкий і зручний аналіз [1].

Сучасні дослідження у цій сфері демонструють значний прогрес у задачах класифікації харчових зображень. Зокрема, моделі, навчені на наборі даних Food-101, досягають високих показників точності розпізнавання типів страв, однак не вирішують задачу оцінки калорійності безпосередньо [1]. Інші підходи, зокрема Im2Calories, оцінюють калорійність шляхом поєднання розпізнавання об'єктів із аналізом об'єму порції, проте потребують додаткових даних і мають обмеження щодо точності [2]. Використання глибоких згорткових нейронних мереж забезпечує виділення ознак зображення та значно підвищує якість класифікації [3, 4].

Для вирішення вище зазначених недоліків запропоновано підхід, що базується на використанні згорткової нейронної мережі для класифікації страв із подальшим визначенням їх калорійності шляхом зіставлення з базою харчових характеристик. Загальна структура алгоритму наведена на рисунку 1.

Як показано на рисунку 1, система працює як єдиний конвеєр обробки даних, що дозволяє забезпечити стабільність результатів. Оцінювання ефективності моделі проводилось із використанням стандартних метрик класифікації [5-7]. Узагальнені результати наведено в таблиці 1.

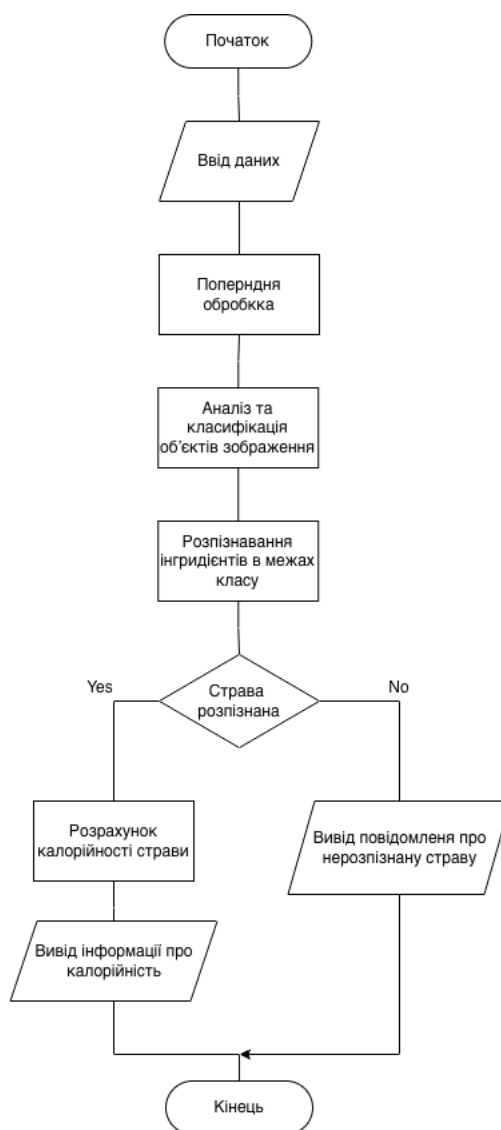


Рисунок 1- Запропонована схема роботи алгоритму розпізнавання калорійності страв

Таблиця 1 - Показники класифікації страв запропонованим алгоритмом для датасету і Food-101

Показник	Значення
Accuracy	0.723
Precision	0.725
Recall	0.723
F1-score	0.721
ROC-AUC	0.992(micro) / 0.991(macro)

Як видно з таблиці 1, модель демонструє збалансовані показники точності та повноти, що підтверджується значенням F1-score на рівні 0,72. Якість роботи моделі залежить від характеристик навчального набору даних, що узгоджується з результатами інших досліджень [2].

Висновок

У роботі розроблено підхід до автоматичного визначення калорійності страв на основі аналізу зображень. Модель демонструє достатній рівень точності (F1-score $\approx 0,72$), що підтверджує її ефективність та можливість використання в системах контролю харчування.

Список використаних джерел

1. Bossard L., Guillaumin M., Van Gool L. Food-101 – Mining Discriminative Components with Random Forests. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2014. P. 446–461.
2. Myers A., Johnston N., Rathod V. та ін. Im2Calories: Towards an Automated Mobile Vision Food Diary. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2015. P. 1233–1241.
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. 2012. P.1097–1105.
4. Kovalskyi S.S., Koval V.S. Analysis and Comparison of Modern CNN Architectures for Wood Defect Detection. *Artificial Intelligence for Sustainable Development: Proceedings of the Second International Workshop of Young Scientists*. May 8-9 2025, P.89-99.URL:<https://ceur-ws.org/Vol-3974/paper08.pdf>
5. Chicco D., Jurman G. The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*. 2020. Vol.21. P.6. URL:<https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-019-6413-7>
6. Saito T., Rehmsmeier M. The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLoS ONE*. 2015. Vol.10, No.3. e0118432. URL:<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0118432>
7. Fernández A., García S., Galar M., Prati R. C., Krawczyk B., Herrera F. Learning from Imbalanced Data Sets. Cham: Springer, 2018. 377 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-98074-4>

УДК 004.8 : 004.93

АНАЛІЗ ВПЛИВУ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ТОЧНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО МОВЛЕННЯ

Герцій Володимир Вікторович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
gertsyivolodymyr2004@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

На сьогодні автоматичне розпізнавання мовлення (англ. Automatic Speech Recognition, ASR) [1] для української мови є актуальною задачею у сфері інформаційних технологій. З попереднього дослідження [2] з'ясовано, що кількість нейронних мереж, що забезпечують якісне розпізнавання українського мовлення та підтримують роботу з часовими інтервалами аудіосигналу, залишається обмеженою.

Сучасні ASR-системи для української мови базуються на використанні різних типів нейромережових компонентів, зокрема згорткових шарів Conv [3], Transformer-подібних архітектур, таких як Conformer [3] та Squeezeformer [4], а також BiLSTM- і CTC-механізмів [5]. Ці компоненти забезпечують ефективне моделювання часових залежностей та вилучення інформативних ознак із мовного сигналу.

У межах дослідження для побудови чотирьох експериментальних архітектур нейронних мереж, було використано зазначені компоненти як базові елементи моделі. Їх вибір обумовлений високою ефективністю при обробці послідовностей аудіоданих та здатністю забезпечувати точне розпізнавання мовлення навіть за умов обмеженого обсягу навчальних даних.

Перша нейронна мережа (НМ) поєднує згорткові, рекурентні шари та механізм зосередження уваги:

- Conv та LayerNorm (два послідовні блоки) – вилучають локальні акустичні ознаки зі спектрограми та стабілізують навчання;
- два шари BiLSTM – моделюють двосторонні часові залежності в аудіопослідовності;
- LightweightAttention – забезпечує фокусування нейронної мережі на найбільш релевантних частинах послідовності;
- Dense CTC – формує фінальні представлення;
- Dense Timestamps – додатковий вихід для передбачення часових інтервалів.

Ця нейронна мережа будувалася за такою логікою:

- а) згорткове вилучення локальних ознак;
- б) рекурентне моделювання часової структури;
- в) механізм уваги для контекстного зважування;
- г) повнозв'язне прогнозування токенів та їхніх часових інтервалів.

Така архітектура забезпечує ефективне розпізнавання мовлення з точним часовим вирівнюванням.

Друга нейронна мережа має подібну архітектуру, однак містить шість послідовних блоків, сформованих із шарів Conv та LayerNorm, а також три шари BiLSTM. Також у цих шарах збільшено кількість каналів. Інші шари LightweightAttention, Dense CTC та Dense Timestamps залишилися без змін.

Третя нейронна мережа має більш сучасний підхід до побудови власної архітектури, яка поєднує Conv subsampling із блоками Multi-Head Self-Attention та Convolution:

- два блоки Conv subsampling – згорткові шари виконують часову субдискретизацію та витягують базові акустичні ознаки;
- Input Projection (Dense) – лінійна проекція ознак у робочу розмірність;
- чотири блоки ConformerBlock – основні блоки нейронної мережі, кожен з яких містить Feed-Forward модулі, Multi-Head Self-Attention та Convolution module;
- Dense CTC – вихід для CTC-декодування;
- Dense Timestamps – окремий вихід для передбачення часових інтервалів.

Для побудови цієї архітектури нейронної мережі використану таку логіку:

- а) згорткове стиснення та вилучення ознак;
- б) проекція ознак;
- в) глибоке контекстне моделювання за допомогою чотирьох Conformer-блоків (поєднання глобальної уваги та локальних згорток);
- г) паралельне передбачення символів та часових інтервалів.

Така архітектура ефективно поєднує локальне та глобальне моделювання, забезпечуючи високу точність розпізнавання мовлення з точним часовим вирівнюванням.

Четверта нейронна мережа має архітектуру, подібну до попередньої моделі. Вона містить два блоки Conv subsampling, шар Input Projection (Dense) та чотири блоки ConformerBlock. У зазначених шарах збільшено кількість каналів, тоді як шари Dense CTC та Dense Timestamps залишено без змін.

Усі чотири нейронні мережі навчалися на власному наборі даних, сформованому на основі відеоматеріалів із платформи YouTube, з яких використовувалися лише аудіодоріжки. Обсяг цього набору даних склав близько 60 тисяч аудіофайлів. Також було проведено аугментацію для набору даних, що дало змогу збільшити набір даних до 300 тисяч аудіофайлів.

Для оцінювання розпізнаного тексту нейронними мережами було використано метрику *WER*. Коефіцієнт помилок слів (*WER*) – це показник ефективності системи розпізнавання мови або машинного перекладу. Значення *WER* зазвичай коливається в діапазоні від 0 до 1, де 0 означає, що порівнювані

фрагменти тексту є абсолютно ідентичними, а 1 (або більше) – що вони повністю відрізняються й не мають жодної схожості [6]:

$$WER = \frac{S+D+I}{N} = \frac{S+D+I}{S+D+C}, \quad (1)$$

де S – кількість замін;

D – кількість видалень;

I – кількість вставлень;

C – кількість правильних слів;

N – кількість слів у вихідному тексті ($N = S + D + C$).

При оцінці ефективності системи розпізнавання мови іноді використовують показник точності розпізнавання слів ($WAcc$) [6]:

$$WAcc = 1 - WER = \frac{N-S-D-I}{N} = \frac{C-I}{N}, \quad (2)$$

де S – кількість замін;

D – кількість видалень;

I – кількість вставлень;

C – кількість правильних слів;

N – кількість слів у вихідному тексті ($N = S + D + C$).

Результати вимірювань точності чотирьох нейронних мереж за метрикою WER представлені у таблиці 1. Всі чотири нейронні мережі навчалися по 200 епох. Оцінка точності розпізнавання тексту нейронними мережами відбувалася на аудіофайлах, які не входили в навчальну вибірку набору даних.

Таблиця 1 – Результати порівняння нейронних мереж для ASR за метриками WER та WAcc

Метрики оцінення точності	Перша НМ	Друга НМ	Третя НМ	Четверта НМ
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 1	40.98% (59.02%)	34.63% (65.37%)	36.29% (63.71%)	26.79% (73.21%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 2	55.73% (44.27%)	46.18% (53.82%)	46.34% (53.66%)	36.06% (63.94%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 3	63.56% (36.44%)	54.85% (45.15%)	54.92% (45.08%)	46.59% (53.41%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 4	42.06% (57.94%)	34.32% (65.68%)	35.91% (64.09%)	28.07% (71.93%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 5	62.71% (37.29%)	49.82% (50.18%)	52.08% (47.92%)	38.96% (61.04%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 6	48.05% (51.95%)	35.99% (64.01%)	37.06% (62.84%)	27.39% (72.61%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 7	76.66% (23.34%)	63.35% (36.65%)	66.42% (33.58%)	53.39% (46.61%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 8	80.77% (19.23%)	73.48% (26.52%)	74.51% (25.49%)	67.79% (32.21%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 9	60.59% (39.41%)	54.44% (45.56%)	49.87% (50.13%)	39.88% (60.12%)
WER (у дужках WAcc) у % для аудіо 10	39.11% (60.89%)	30.74% (69.26%)	33.07% (66.93%)	24.98% (75.02%)
Середній WER (у дужках середній WAcc) у %	58.16% (41.84%)	48% (52%)	48.10% (51.9%)	38.99% (61.01%)

Найкращу точність розпізнавання тексту продемонструвала четверта нейронна мережа, досягнувши найнижчого середнього показника WER = 38.99% (WAcc = 61.01%). Для порівняння: перша нейронна мережа – WER = 58.16%; друга – WER = 48.00%; третя – WER = 48.10%. Четверта нейронна мережа виявилася найбільш ефективною завдяки:

- використанню Conformer-блоків з більшою розмірністю каналів та значно більшою кількістю параметрів;

- потужнішому поєднанню глобальної самоуваги (Multi-Head Self-Attention) з локальним згортковим моделюванням у кожному блоці;

- глибшій та масштабнішій архітектурі порівняно з іншими.

Вплив архітектур нейронних мереж на точність за метрикою WER:

- перша нейронна мережа (CNN + BiLSTM + LightweightAttention) – найслабша через обмежену глибину та менш потужний механізм уваги;

- друга нейронна мережа (глибша CNN + 3 BiLSTM) показала помітне покращення завдяки збільшеній глибині рекурентних шарів;

- третя нейронна мережа (Conformer) досягла результатів, близьких до другої, демонструючи ефективність Conformer-блоків навіть за меншої кількості параметрів;

- четверта нейронна мережа (масштабований Conformer) отримала найбільший приріст точності завдяки збільшенню кількості параметрів та оптимальному балансу між локальним і глобальним моделюванням.

Отже, ключовими чинниками підвищення ефективності стали перехід до архітектури Conformer, збільшення розмірності каналів, а також загальна масштабованість нейронних мереж. Це підтверджує, що для задач ASR комбінація потужної самоуваги з конволюційними модулями в глибоких блоках дає суттєву перевагу.

У подальших дослідженнях планується навчання нейронних мереж, в архітектурі яких будуть шари інших типів Transformer, також буде покращення набору даних, на яких навчалися моделі, зокрема збільшення кількості аудіофайлів.

Список використаних джерел

1. Kheddar H., Hemis M., Himeur Y. Automatic Speech Recognition using Advanced Deep Learning Approaches: A survey. *Information Fusion*. 2024. Vol. 109. Art. ID 102422.

2. Герцій В.В., Турченко І.В. Прикладний програмний інтерфейс для транскрипції та субтитрів для аудіо та відеофайлів на основі штучного інтелекту. *Інтелектуальні інформаційні технології в прикладних дослідженнях (ІІТАР-2025)*: збірник тез доповідей студентської науково-практичної конференції м. Тернопіль: ЗУНУ, 2025. 138-141 с.

3. Gulati A., Qin J., Chiu C.-C., Parmar N., Zhang Y., Yu J., Han W., Wang S., Zhang Z., Wu Y., Pang R. Conformer: Convolution-augmented Transformer for Speech Recognition. *21st Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2020)*: proceedings, 25–29 Oct. 2020, Shanghai, China. Baixas: ISCA, 2020. P. 5036-5040.

4. Kim S., Gholami A., Shaw A., Lee N., Mangalam K., Malik J., Mahoney M. W., Keutzer K. Squeezeformer: An Efficient Transformer for Automatic Speech Recognition. *Advances in Neural Information Processing Systems 35 (NeurIPS 2022)*: proceedings of the 36th International Conference, 28 Nov.-9 Dec. 2022. San Diego: Neural Information Processing Systems Foundation,

2022. P. 9361-9373.

5. Prabhavalkar R., Hori T., Sainath T. N., Schlüter R., Watanabe S. End-to-End Speech Recognition: A Survey. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. 2024. Vol. 32. P. 325-351.

6. Jurafsky D., Martin J. H. *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition with Language Models*, 3rd edition. Online manuscript released January 6, 2026. 3. 626. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3>

УДК 004.89:004.912

ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЕМОЦІЙНОГО ТОНУ ТЕКСТУ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ОСНОВІ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ

Дмитерко Віктор Андрійович, студент,
vityadm@gmail.com

Домбровський Михайло Збишекович,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем та управління,
Західноукраїнський національний університет
m.dombrovskyi@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5582-5793

Стрімке зростання обсягів текстових даних у CRM-системах обумовлює необхідність впровадження інтелектуальних методів автоматизованого аналізу користувацьких звернень. Для підприємств, що здійснюють супровід програмного забезпечення, зокрема BAS та M.E.Doc [1, 2], оперативне виявлення негативних повідомлень є важливим фактором забезпечення якості технічної підтримки та підвищення рівня задоволеності клієнтів.

У CRM-системах менеджери підтримки щоденно опрацьовують значну кількість текстових повідомлень різного ступеня критичності. Ручний аналіз звернень характеризується високою трудомісткістю, часовими витратами та залежністю від суб'єктивного сприйняття оператора. Зростання кількості звернень підвищує когнітивне навантаження на персонал і ускладнює своєчасне виявлення критичних повідомлень [3–6]. Традиційні статистичні та словниково-орієнтовані методи аналізу тональності демонструють обмежену ефективність під час обробки українськомовних технічних текстів через складність контекстних залежностей, морфологічну варіативність та наявність професійної термінології [6, 8].

Одним із найбільш ефективних напрямів аналізу природної мови є використання трансформерних архітектур глибокого навчання [3-5]. Модель BERT [3] забезпечує формування контекстно-залежних векторних представлень тексту та врахування семантичних зв'язків між словами незалежно від їхнього розташування у реченні. На відміну від рекурентних нейронних мереж, трансформерна архітектура реалізує паралельне опрацювання послідовностей за допомогою механізму багатоголової уваги (Multi-Head Self-Attention) [4]. Аналіз тональності текстів є одним із ключових напрямів розвитку інтелектуальних інформаційних систем [8], а перспективність інтеграції NLP-технологій підтверджується дослідженнями у сфері інтелектуальної взаємодії людини та комп'ютера [5].

Програмний застосунок реалізовано на основі клієнт-серверної архітектури із використанням мови Python та фреймворку Streamlit [7]. Архітектура системи

забезпечує розділення рівнів взаємодії користувача, попередньої обробки тексту та інференсу трансформерної моделі. Для оптимізації використання ресурсів застосовано механізм кешування за допомогою декоратора `@st.cache_resource`, що дозволяє уникнути повторного завантаження ваг моделі BERT і підвищити швидкодію застосунку [3, 7].

Процес функціонування застосунку реалізовано у вигляді NLP-конвеєра, наведеного на рисунку 1. Конвеєр включає рівні попередньої обробки тексту, токенизації та інференсу трансформерної моделі. На етапі попередньої обробки здійснюється очищення повідомлень від службових символів і технічних артефактів CRM-системи. На етапі токенизації текст сегментується на субтокени за алгоритмом WordPiece, що забезпечує коректну обробку професійної термінології та мінімізує проблему невідомих лексем [3]. На рівні інференсу формується контекстуальне представлення тексту за допомогою 12-рівневої архітектури Transformer [4], після чого виконується класифікація емоційного тону повідомлення.

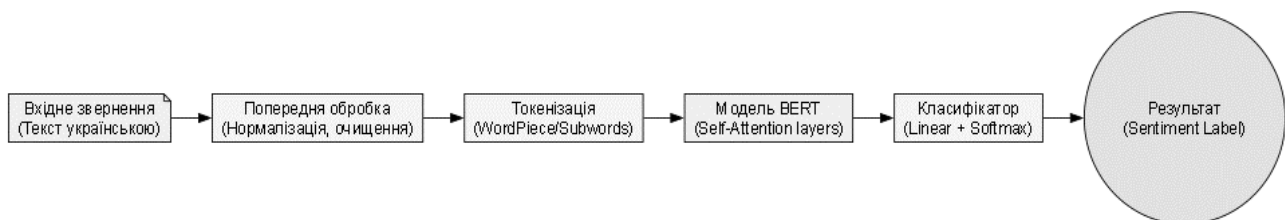


Рисунок 1 – Конвеєр NLP функціонування застосунку

В основі інтелектуального модуля використано модель `bert-base-multilingual-uncased`, адаптовану до специфіки українськомовних технічних звернень шляхом процедури донавчання (`fine-tuning`) [3]. Для навчання сформовано спеціалізований датасет на основі звернень клієнтів щодо програмних продуктів BAS, М.Е.Дос та суміжних інформаційних сервісів. Повідомлення розподілено на три класи: негативні, позитивні та нейтральні.

Для оптимізації вагових коефіцієнтів трансформерної моделі під час донавчання застосовано функцію втрат перехресної ентропії (`Cross-Entropy Loss`), яка мінімізує розбіжність між прогнозованими та фактичними класами повідомлень [3, 4]:

$$L = - \sum_{i=1}^n y_i \log(\hat{y}_i) ,$$

де y_i — істинна мітка класу класифікованих повідомлень;

\hat{y}_i — прогнозована ймовірність класифікованих повідомлень.

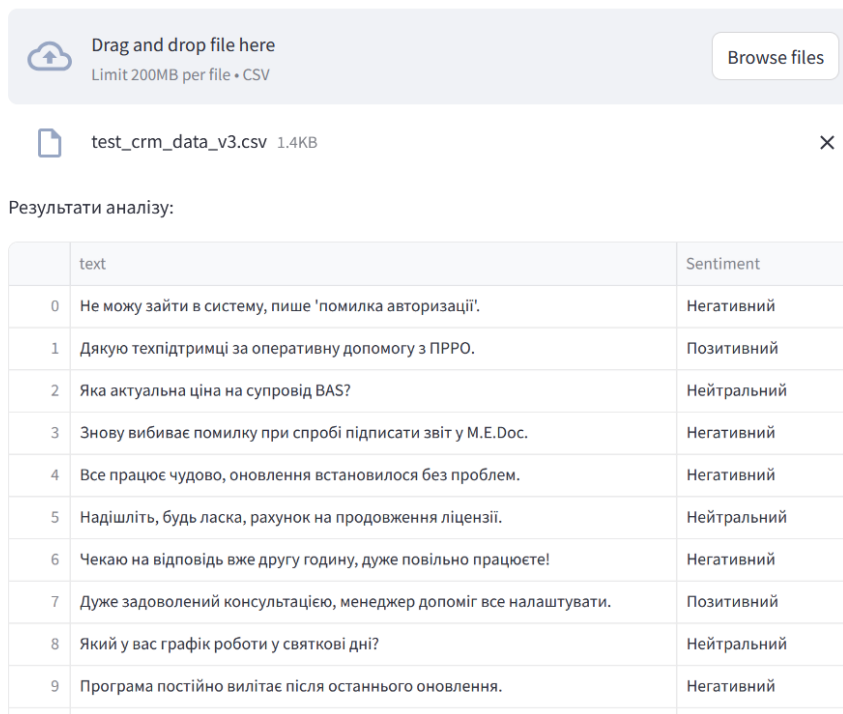
Використання механізму `Self-Attention` дозволило моделі ефективно фокусуватися на ключових маркерах емоцій незалежно від їхнього розташування у реченні [4]. Це забезпечило можливість коректного аналізу технічних звернень зі складною структурою, професійною термінологією та контекстно-залежними конструкціями.

Експериментальна перевірка системи проводилася на тестовій вибірці повідомлень CRM-системи підприємства. Для оцінювання ефективності класифікації використано метрики Precision, Recall та F1-score. Результати оцінювання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Метрики оцінювання класифікаційної моделі BERT

Клас (Емоційний тон)	Precision	Recall	F1-score
Негативний (label 0)	0,75	1,00	0,86
Позитивний (label 1)	1,00	0,67	0,80
Нейтральний (label 2)	1,00	1,00	1,00
Загальна точність (Accuracy)	—	0,88	—

Експериментальна перевірка продемонструвала точність класифікації 88,89%. Найбільш важливим показником для CRM-систем є значення Recall для негативного класу, яке досягло 1,00. Це свідчить про відсутність пропуску критичних звернень і забезпечує своєчасне реагування менеджерів підтримки на проблемні повідомлення користувачів. Високі значення Precision для нейтрального та позитивного класів підтверджують здатність моделі мінімізувати кількість помилкових класифікацій. Приклад інтерфейсу завантаження даних для перевірки працездатності моделі наведено на рисунку 2. У вікні застосунку відображаються повідомлення користувачів та результати автоматичної класифікації емоційного тону.



Результати аналізу:

	text	Sentiment
0	Не можу зайти в систему, пише 'помилка авторизації'.	Негативний
1	Дякую техпідтримці за оперативну допомогу з ПРРО.	Позитивний
2	Яка актуальна ціна на супровід BAS?	Нейтральний
3	Знову вибиває помилку при спробі підписати звіт у М.Е.Дос.	Негативний
4	Все працює чудово, оновлення встановилося без проблем.	Негативний
5	Надішліть, будь ласка, рахунок на продовження ліцензії.	Нейтральний
6	Чекаю на відповідь вже другу годину, дуже повільно працюєте!	Негативний
7	Дуже задоволений консультацією, менеджер допоміг все налаштувати.	Позитивний
8	Який у вас графік роботи у святкові дні?	Нейтральний
9	Програма постійно вилітає після останнього оновлення.	Негативний

Рисунок 2 – Завантажених даних для перевірки працездатності моделі

Для підвищення ефективності аналізу результатів у застосунку реалізовано модуль інтерактивної візуалізації. Стовпчикова діаграма, наведена на рисунку 3,

відображає кількісний розподіл повідомлень за емоційними класами та дозволяє оперативно оцінювати домінуючу тональність звернень.

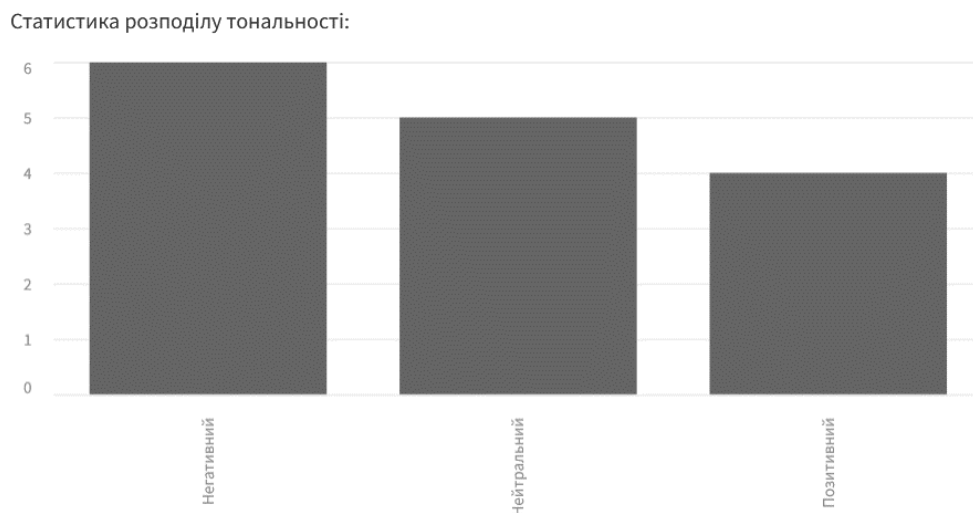


Рисунок 3 – Діаграма розподілу емоційної тональності

Кругова діаграма співвідношення емоційних категорій, наведена на рисунку 4, забезпечує узагальнене представлення емоційного фону текстового масиву повідомлень CRM-системи.

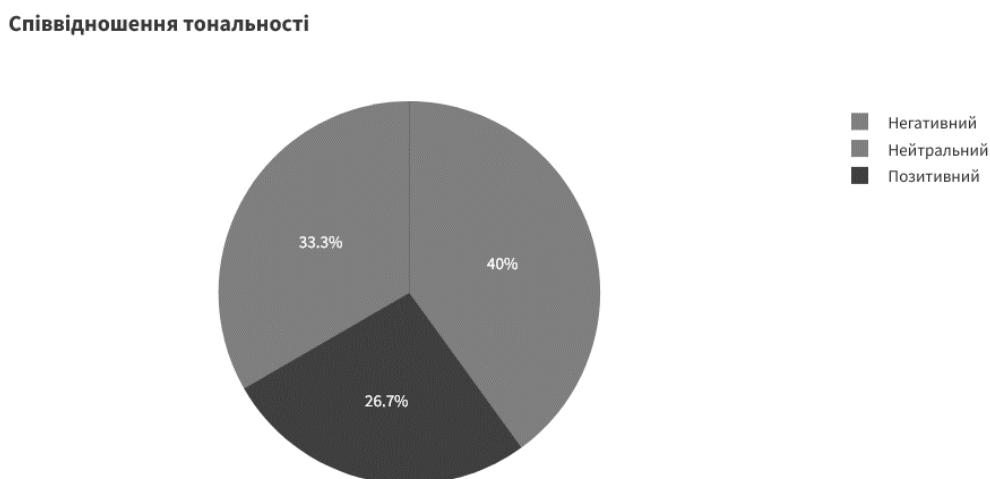


Рисунок 4 – Діаграма співвідношення емоційної тональності

Запропонований підхід передбачає удосконалення методики донавчання мультимовних трансформерних моделей для аналізу українськомовного технічного контенту в CRM-системах IT-підприємств. На відміну від універсальних моделей аналізу тональності, розроблений застосунок враховує специфіку професійної лексики, технічних скорочень і морфологічну складність спеціалізованих звернень користувачів. Це дозволило підвищити ефективність класифікації та забезпечити високу повноту виявлення негативних повідомлень навіть за умов обмеженої навчальної вибірки завдяки використанню механізмів

Transfer Learning. У підсумку створено автономний програмний модуль, інтегрований у CRM-системи через стандартизовані формати обміну даними. Використання застосунку автоматизує пріоритезацію звернень клієнтів, мінімізує ризик пропуску критичних повідомлень, підвищує оперативність роботи служби підтримки та знижує когнітивне навантаження на персонал завдяки інтерактивній візуалізації результатів аналізу.

У результаті дослідження розроблено та практично реалізовано інтелектуальний програмний застосунок для автоматизації аналізу емоційного тону повідомлень у CRM-системах підтримки клієнтів. Використання трансформерної архітектури BERT у поєднанні з методикою донавчання на спеціалізованому корпусі українськомовних технічних звернень забезпечило ефективне контекстне розуміння текстових повідомлень і високу якість класифікації.

Експериментально підтверджено ефективність запропонованого підходу: досягнуто точності класифікації 88,89 % та показника повноти виявлення негативних звернень на рівні 1,00. Практичне впровадження застосунку забезпечує автоматизацію пріоритезації звернень у CRM-системах та підвищує ефективність роботи служб технічної підтримки.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт програмних продуктів BAS [Електронний ресурс]. URL: <https://www.bas-soft.eu/> (дата звернення: 07.05.2026).
2. Офіційний сайт системи електронного документообігу М.Е.Дос [Електронний ресурс]. URL: <https://medoc.ua/> (дата звернення: 07.05.2026).
3. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*. Minneapolis, USA, 2019. P. 4171–4186.
4. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. P. 5998–6008.
5. Pashchuk I., Turchenko I., Dombrovskiy M., Hrushytskyi M. AI-Driven Natural Language Processing to SQL Query Generation for Enhanced Human-Machine Interaction in the Digital Era. *IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. 2025. P. 1–6.
6. Субботін С. О., Олійник А. О. Інтелектуальні інформаційні технології аналізу текстових даних. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2022. № 3. С. 97–108.
7. Wolf T., Debut L., Sanh V. et al. Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations*. 2020. P. 38–45.
8. Коваленко А. О., Шевченко І. В. Методи аналізу тональності текстової інформації в інформаційних системах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2023. № 2. С. 45–52.

УДК 004.93 : 004.8

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ БАГАТОЕТАЛОННОГО ПЕРЕДСТАВЛЕННЯ У ЗАДАЧАХ БІОМЕТРИЧНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ ЗА УМОВ ОКЛЮЗІЇ

Ковальковський Віталій Віталійович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
v.kovalkovskyi@st.wunu.edu.ua

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
itu@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Ефективність методів розпізнавання осіб за умов часткової оклюзії та просторових спотворень критично залежить від етапу попередньої обробки вхідних даних та коректного застосування сучасних архітектур глибокого навчання [1]. Формування інваріантного біометричного дескриптора на основі передових метричних функцій втрат, таких як адитивний кутовий відступ [2], вимагає мінімізації впливу сторонніх завад, артефактів освітлення та геометричних зсувів ще до моменту генерації математичного вектора. Це зумовлює необхідність інтеграції етапів фільтрації та стандартизації в єдину методологічну послідовність, яка забезпечує стійкість системи до деструктивних чинників середовища.

У зв'язку з цим виникає задача розробки методу комплексної попередньої обробки візуального потоку, що передбачає послідовне вирішення кількох взаємопов'язаних підзадач. По-перше, необхідним є оцінювання автентичності біометричного пред'явлення для запобігання спуфінг-атакам спільно з динамічним аналізом просторового положення голови користувача. По-друге, метод має забезпечувати високоточну локалізацію обличчя в умовах гострого дефіциту інформативних ознак, зокрема за наявності захисних масок або критичних кутів нахилу. По-третє, критично важливим етапом є виконання геометричного вирівнювання для приведення виявлених антропометричних точок до єдиної системи координат, що дозволяє нівелювати просторові викривлення.

Для реалізації окресленого методологічного підходу доцільно використовувати синергію спеціалізованих алгоритмічних моделей та інструментів комп'ютерного зору. Задача детекції обличчя в умовах оклюзії успішно вирішується архітектурами з механізмами багатозадачного оцінювання. Серед існуючих рішень найвищу стійкість до перекриття нижньої частини обличчя демонструє алгоритм RetinaFace [3], який, на відміну від класичних

каскадних детекторів, базується на концепції одностадійного прогнозування та локалізації за п'ятьма базовими антропометричними точками. Ефективна оптимізація та інференс подібних масштабних моделей машинного навчання забезпечується використанням високопродуктивних фреймворків для гетерогенних обчислювальних систем [4]. Подальше обов'язкове вирівнювання за координатами очей та нормалізація афінних перетворень виконуються за допомогою алгоритмів обробки зображень, реалізованих у спеціалізованих бібліотеках комп'ютерного зору [5]. Це гарантує належну стандартизацію масштабу та ракурсу перед безпосереднім розрахунком математичного вектора ознак.

На відміну від традиційної верифікації за парою статичних кадрів, запропонований метод базується на концепції багатоеталонного представлення (англ. Multi-Reference Embedding, MRE) та розрахунку «центроїда ідентичності». В основу підходу покладено припущення, що поодинокий дескриптор містить випадковий шум, спричинений динамічними змінами освітлення чи міміки. Для нівелювання цього ефекту метод передбачає просторову агрегацію серії векторів, отриманих з обмеженої вибірки N референсних біометричних пред'явлень ($N \leq 3$). Такий підхід дозволяє отримати стійкий еталон, розташований безпосередньо в центрі кластера ознак користувача у 512-вимірному просторі.

Для забезпечення семантичної чистоти даних у методі передбачено механізм попередньої перевірки узгодженості (Identity Validation), що базується на порівнянні векторів між собою. Якщо косинусна відстань між будь-якою парою дескрипторів перевищує встановлений ліміт, таке пред'явлення маркується як зашумлені дані (Noisy Data) і виключається з обчислень. Розрахунок центроїда у багатовимірному просторі ознак реалізується шляхом визначення фінального еталонного вектора V_{ref} як L_2 -нормалізованого середнього значення валідованих дескрипторів за формулою:

$$V_{ref} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{\|\sum_{i=1}^n e_i\|_2}$$

де e_i – нормалізовані векторні представлення (ембедінги) ArcFace.

Для подолання проблеми кутових відхилень та просторових зсувів на етапі розпізнавання (Verification Phase) у метод інтегровано механізм модифікації даних під час тестування (англ. Test-Time Augmentation, ТТА). Замість генерації дескриптора на основі єдиного вхідного зображення, алгоритм формує три геометричні варіації: оригінальне зображення та його копії, повернуті на $\pm 5^\circ$ навколо обчисленого центра обличчя. Подальше статистичне усереднення ембедінгів цих трьох варіацій дозволяє нівелювати вплив випадкового нахилу голови користувача, формуючи результуючий вектор V_{live} , який порівнюється з еталонним V_{ref} за метрикою косинусної подібності.

Важливою перевагою використання просторової агрегації на початковому етапі є можливість впровадження адаптивного персонального порогу верифікації (Personal Thresholding). Метод аналізує внутрішньокласову варіативність (Intra-class variance) між реєстраційними дескрипторами. У разі виявлення низької подібності між ними через складні умови екзогенних завад, алгоритм автоматично зміщує поріг верифікації у бік більш жорстких значень, мінімізуючи ймовірність помилкового допуску (англ. False Acceptance Rate, FAR). Описана дворівнева методологічна архітектура, що поєднує усереднений просторовий центроїд та механізм ТТА на етапі порівняння, забезпечує високу інваріантність ознак, дозволяючи досягти точності розпізнавання 90.82% навіть в умовах суттєвої оклюзії обличчя масками.

Для оцінки стійкості методу до оклюзій було використано два типи наборів даних, що суттєво відрізняються за складністю візуальних патернів. Набір LFW (Labeled Faces in the Wild) містить зображення осіб у природних умовах без штучних перешкод, що дозволяє встановити базову точність системи. Набір RMFD (Real-world Masked Face Dataset) включає зображення людей у медичних масках, де значна частина ключових точок обличчя (ніс, рот, підборіддя) є прихованою. Приклади зображень із використаних наборів даних наведено на рисунку 1.

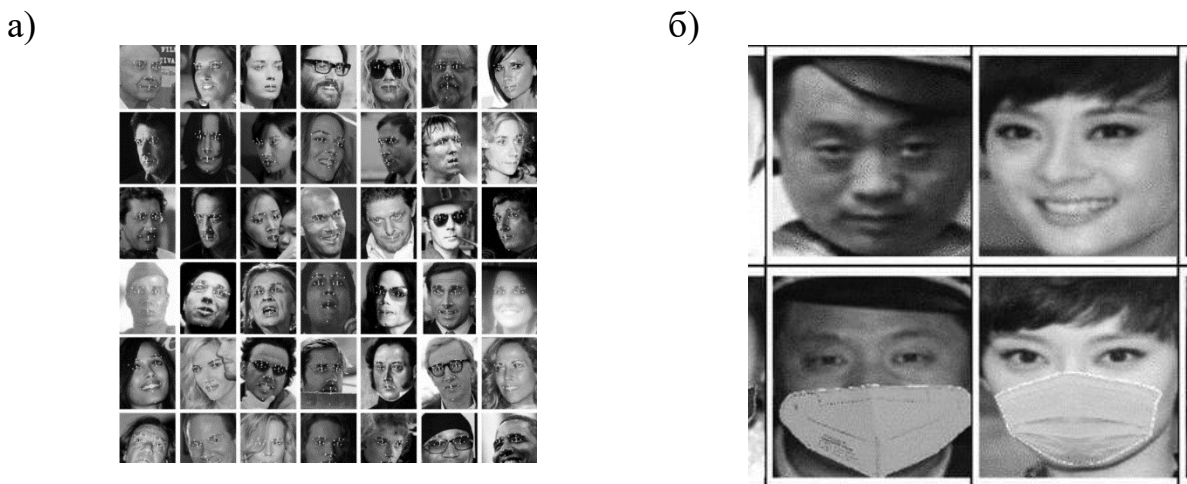


Рисунок 1 – Приклади зображень із наборів даних: а) LFW – обличчя без оклюзій; б) RMFD – обличчя з накладеними медичними масками

Аналіз візуальних даних показує, що при використанні масок нейронна мережа змушена фокусуватися виключно на зоні очей та формі брів, що підвищує ризик виникнення міжкласової подібності (Inter-class similarity). Саме для нівелювання цього ефекту було застосовано метод Multi-Reference Embedding, який дозволяє виокремити найбільш стабільні ознаки з кількох еталонних зображень.

Експериментальна перевірка запропонованого методу Multi-Reference Embedding (MRE) проводилася на двох ключових наборах даних, які стали основою для оцінки ефективності розробленої системи. Метою перевірки було

підтвердження стабільності розпізнавання як у стандартних умовах, так і при значній оклюзії обличчя.

Для встановлення верхньої межі точності системи було використано датасет LFW. Завдяки використанню усередненого вектора («центроїда ідентичності») та механізму TTA, система продемонструвала Accuracy 94.00%. Аналіз безпекових метрик показав наступне:

- FAR (False Acceptance Rate) склав 4.17%, що свідчить про високу стійкість до спроб несанкціонованого доступу під виглядом іншої особи;

- FRR (False Rejection Rate) на рівні 7.69% підтверджує зручність системи для легітимних користувачів, мінімізуючи кількість необґрунтованих відмов у доступі.

Ефективність розробленого підходу підтверджено експериментально: на тестовому датасеті RMFD в умовах оклюзії обличчя медичними масками показник точності розпізнавання склав 90.82%. Цей показник було отримано при встановленні порогового значення 0.80, що дозволило системі впевнено ідентифікувати особу за мінімальною кількістю відкритих біометричних ознак (зона очей та брів).

Оптимальний баланс точності для практичних сценаріїв було зафіксовано на позначці 88.00% (поріг 0.78), що є технологічним максимумом для обраної архітектури без проведення витратного донавчання моделі.

Для демонстрації прогресу в таблиці 1 наведено порівняння фінальних результатів із початковими тестами базової моделі (без MRE) та допоміжними тестами на локальних вибірках.

Таблиця 1 –Результати тестування системи верифікації

Статус результату	Набір даних	Умова	Точність	FAR	FRR
Основний результат	LFW	Без маски (MRE)	94.00%	4.17%	7.69%
Основний результат	RMFD	В масці (MRE)	90.82%	–	–
Допоміжний (MFR2)	MFR2	Оптимальний поріг	60.00%	–	–
Базовий (Baseline)	AFDB	Чиста вибірка	40.00%	–	–
Базовий (Baseline)	AFDB	Початковий тест	16.00%	–	–

Результати на рівні 94% та 90.8% підтверджують, що перехід від порівняння поодиноких кадрів до багатореферентних ембедінгів дозволив нівелювати шум та артефакти зйомки. Запропонований метод демонструє високу стабільність, що є достатньою для його впровадження в корпоративні інфраструктури контролю доступу та процедури двофакторної автентифікації, де критично важливим є розпізнавання осіб у засобах індивідуального захисту. Наочне підтвердження переваг розробленого наукового підходу Multi-Reference Embedding порівняно з

базовими методами та етапами очищення даних представлено на відповідному графіку (рисунок 2).

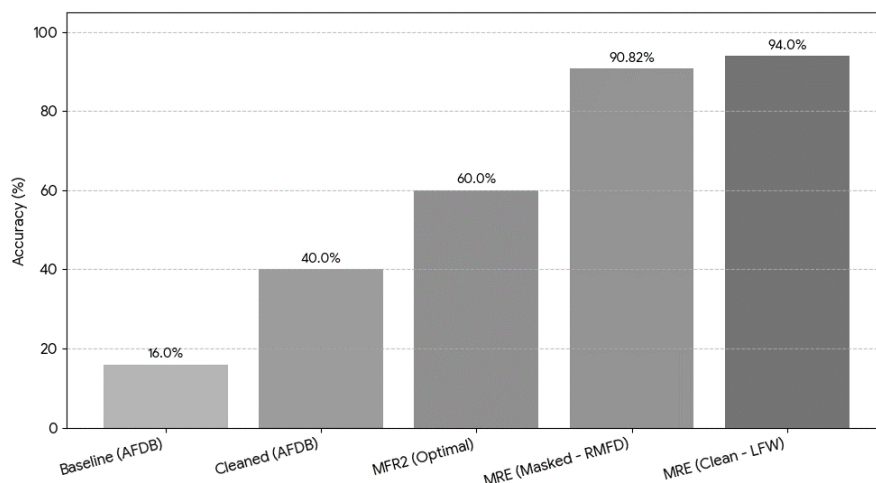


Рисунок 2 – Порівняння точності (Accuracy) запропонованого методу на етапах оптимізації

Висновки. Проведене дослідження підтвердило ефективність застосування методу багатоеталонного представлення для підвищення точності біометричної верифікації в умовах часткового перекриття обличчя. Усереднення ембедінгів кількох еталонних зображень у поєднанні з автоматичним відсіюванням неякісних даних дозволило сформувати стійкий біометричний шаблон та підвищити надійність розпізнавання порівняно з базовими підходами.

Спільне застосування архітектур RetinaFace та ArcFace у поєднанні з механізмом геометричної аугментації дозволило досягти точності розпізнавання понад 90% навіть для зображень із масками, що підтверджує ефективність розробленого підходу в умовах часткової оклюзії обличчя. Запропонований метод може бути успішно застосований у практичних задачах контролю доступу та двофакторної автентифікації, забезпечуючи оптимальний баланс між точністю розпізнавання та рівнем захисту даних.

Список використаних джерел

1. Chollet F. Deep Learning with Python. 2nd ed. Shelter Island: Manning Publications, 2021. 504 p.
2. Deng J., Guo J., Xue N., Zafeiriou S. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. *Computer Vision and Pattern Recognition: proceedings of the IEEE/CVF Conference*. 2019. P. 4690-4699.
3. Deng J., Guo J., Ververas E., Kotsia I., Zafeiriou S. RetinaFace: Single-Shot Multi-Level Face Localisation in the Wild. *Computer Vision and Pattern Recognition: proceedings of the IEEE/CVF Conference*. 2020. P. 5203-5212.
4. Abadi M., Agarwal A., Barham P. et al. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems. 2015. URL: <https://www.tensorflow.org/>
5. Bradski G. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools. 2000. URL: <https://opencv.org/>

УДК 004.896:004.94

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ КООРДИНАТ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОНОМНОГО АГЕНТА В СЕРЕДОВИЩІ З ПЕРЕШКОДАМИ

Кузьмич Богдан Адамович,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
kuzmych242424@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Сучасні системи автономного керування широко застосовуються в робототехніці, інтелектуальних транспортних системах, комп'ютерному моделюванні та інтерактивних цифрових середовищах. Одним із ключових завдань таких систем є прийняття рішень щодо подальшого руху автономного агента в умовах наявності статичних і динамічних перешкод. Для розв'язання цієї задачі доцільним є використання алгоритмів адаптивного прогнозування координат, які дають змогу оцінювати можливі варіанти переміщення агента та обирати безпечну траєкторію руху відповідно до поточного стану середовища.

У сучасних дослідженнях для розв'язання задач навігації активно використовуються методи машинного навчання, регресійного аналізу та евристичні алгоритми прийняття рішень [1]. Зокрема, у роботі Н. Surmann та співавторів досліджено використання глибокого підкріплювального навчання для автономної навігації мобільних роботів [2], а дослідження Г. Kahn демонструють ефективність самонавчальних алгоритмів для прогнозування безпечної траєкторії руху та уникнення перешкод [3]. Водночас застосування складних нейромережових моделей часто потребує значних обчислювальних ресурсів, що обмежує можливість їх використання в системах реального часу [4-5].

Метою дослідження є розроблення алгоритму адаптивного прогнозування координат для керування рухом автономного агента в середовищі з перешкодами на основі комбінування методів регресійного аналізу та механізму евристичного вибору моделі прогнозування.

Основою запропонованого підходу є ітераційний алгоритм (рисунок 1), який розпочинається зі збору інформації про поточний стан середовища: координати агента, координати цільової точки, розташування перешкод та історія попередніх переміщень. Отримані дані передаються до підсистеми прогнозування, де виконується евристичний вибір математичної моделі.

Для прогнозування координат використовуються інтегровані моделі прогнозування на основі відповідних їм п'яти методів:

- 1) лінійна регресія (Linear Regression);
- 2) поліноміальна регресія (Polynomial Regression);
- 3) гребенева регресія (Ridge Regression);
- 4) випадковий ліс (Random Forest);
- 5) регресія опорних векторів (Support Vector Regression, SVR).

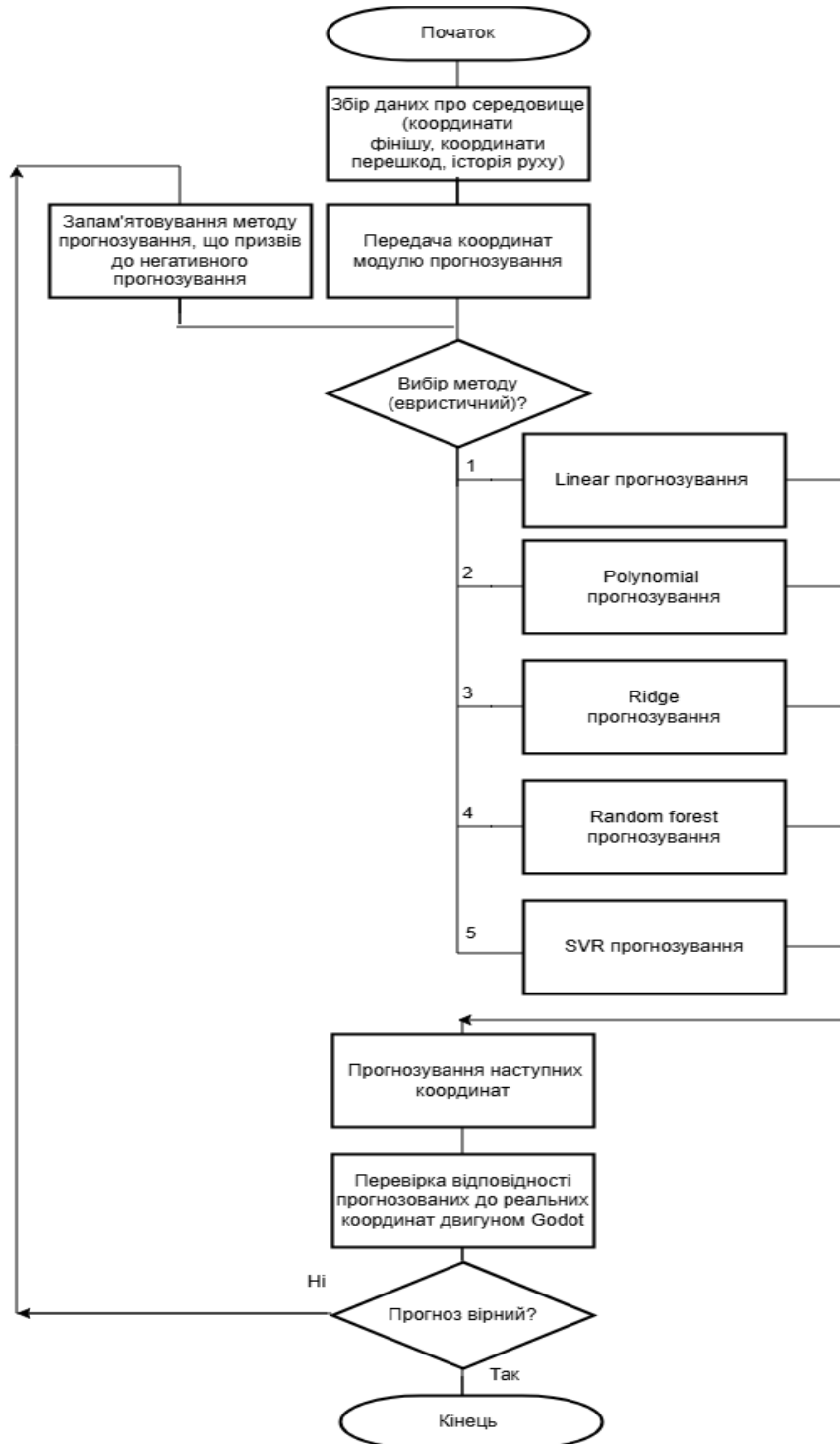


Рисунок 1 – Алгоритм адаптивного прогнозування координат для керування рухом автономного агента в середовищі з перешкодами

Після вибору моделі здійснюється прогнозування координат агента на наступний часовий крок. Сформований прогноз передається до середовища моделювання Godot Engine [6].

У разі відсутності перешкод прогнозовані координати затверджуються для подальшого переміщення агента. Якщо реалізація прогнозу неможлива через наявність перешкоди, відповідний метод прогнозування позначається як неефективний для поточної ситуації, після чого алгоритм повертається до етапу вибору альтернативної моделі. Такий підхід реалізує механізм адаптивного прийняття рішень зі зворотним зв'язком.

Особливістю алгоритму є те, що прогнозована координата розглядається не як остаточне рішення, а як базовий орієнтир для подальшої перевірки можливості її реалізації в умовах конкретного середовища. У разі отримання хибного прогнозу система автоматично переходить до використання альтернативного методу прогнозування, що дозволяє зменшити кількість помилкових рішень та підвищити стійкість навігації.

Перевага запропонованого підходу полягає у формуванні гібридної логіки керування, що поєднує прогнозні можливості регресійних моделей із механізмами реактивної адаптації до поточної ситуації характеристик середовища. На відміну від нейромережових систем, які потребують значних обчислювальних ресурсів, запропонований алгоритм оперує координатними матрицями, що забезпечує зниження обчислювальної складності та підвищення швидкодії системи.

Отже, запропонований алгоритм забезпечує адаптивне прийняття рішень під час керування рухом автономного агента в середовищі з перешкодами.

Напрямом для подальшого дослідження є адаптація агента до роботи в динамічних середовищах, де перешкоди можуть змінювати своє положення чи швидкість у часі.

Список використаних джерел

1. Лісовиченко О. В. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 216 с.
2. Surmann H., Jestel C., Marchel R. et al. Deep Reinforcement Learning for Real Autonomous Mobile Robot Navigation in Indoor Environments. arXiv. 2020. arXiv:2005.13857.
3. Kahn G., Villaflor A., Ding B. et al. Self-supervised Deep Reinforcement Learning with Generalized Computation Graphs for Robot Navigation. arXiv. 2017. arXiv:1709.10489.
4. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. New York: Springer, 2009. 745 p.
5. Субботін С. О. Нейронні мережі: теорія та практика: навч. посіб. Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. 132 с.
6. Використання NavigationAgents. Документація Godot Engine. URL: https://docs.godotengine.org/uk/stable/tutorials/navigation/navigation_using_navigationagents.html

УДК 004.8: 004.9

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ AI-АГЕНТА ДЛЯ ДОМЕНУ НАСТІЛЬНИХ РОЛЬОВИХ ІГОР НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ RAG ТА ДОМЕННОГО FINE-TUNING

Олексишин Євген Олександрович, студент
genjaoleksyshyn1@gmail.com

Науковий керівник: Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет,
nvs@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Настільні рольові ігри (НРІ) – такі як Dungeons & Dragons, Pathfinder та Call of Cthulhu – є складним доменом із чіткою внутрішньою логікою: детальними системами правил, механіками перевірок навичок, специфічною термінологією та розгалуженим лором. Центральною фігурою у НРІ є Майстер (Dungeon Master, Keeper, Game Master) – особа, яка веде гру, описує події, розігрує персонажів та застосовує правила в реальному часі [1].

Сучасні великі мовні моделі (LLM) здатні генерувати зв'язний текст і вести діалог, однак у вузькоспеціалізованих доменах їх достовірність суттєво знижується. Модель, навчена на загальних корпусах, не має точного доступу до правил конкретної гри – це призводить до, так званих, "галюцинацій": впевнених, але фактично некоректних відповідей. Для НРІ це критична проблема, оскільки некоректна інтерпретація механік руйнує ігровий досвід.

Метою даної роботи є опис методу реалізації AI-агента для домену НРІ, що поєднує RAG та fine-tuning для підвищення достовірності відповідей. Практична оцінка та порівняння підходів залишаються предметом подальших досліджень.

Для адаптації великих мовних моделей до конкретного домену можна виділити три основні підходи: інженерія підказок (prompt engineering), пошук з доповненням генерації та доменне донавчання [2].

Prompt engineering передбачає формування інструкцій для мовної моделі без зміни її параметрів. Підхід є доволі простим у використанні і не вимагає глибоких технічних знань і значних обчислювальних ресурсів, однак обмежений залежністю від попереднього навчання моделі, що може призводити до генерації некоректних або вигаданих фактів у складних доменах.

Fine-tuning передбачає донавчання базової мовної моделі на спеціалізованому датасеті, що забезпечує її адаптацію до конкретного домену, зокрема опанування термінології, стилістичних та структурних особливостей. Водночас отримані знання фіксуються у параметрах моделі, що обмежує її

здатність працювати з зовнішніми або динамічно оновлюваними джерелами інформації [3].

RAG доповнює процес генерації механізмом зовнішнього пошуку знань, де релевантні фрагменти документів автоматично додаються до контексту запиту. На відміну від *fine-tuning*, це забезпечує доступ до актуальної інформації на етапі виконання запиту, що знижує ризик галюцинацій і дозволяє формувати більш обґрунтовані відповіді [4]. Водночас якість результату залежить від ефективності пошуку та здатності моделі коректно інтегрувати отриману інформацію.

Кожен із розглянутих підходів має суттєві обмеження у вузькоспеціалізованих доменах, що обґрунтовує доцільність їх комбінування.

Запропонований метод є узагальненим для домену настільних рольових ігор: специфіка конкретної гри визначається наповненням бази знань (правила, лор, сценарії) та доменною адаптацією моделі на етапі *fine-tuning*. У даній роботі метод розглядається на прикладі *Call of Cthulhu*, де агент виконує роль Хранителя (Keeper). Загальну схему методу для *Call of Cthulhu* наведено на рисунку 1.

Метод складається з двох основних компонентів: RAG-пайплайну з векторною базою знань та донавченої мовної моделі. Під час роботи агент отримує запит від користувача, виконує семантичний пошук у базі знань і на основі знайдених фрагментів генерує відповідь, спираючись на засвоєні під час *fine-tuning* доменні знання.

Першим етапом є формування доменного корпусу. Для НРІ він включає кілька типів даних: нормативні матеріали (офіційні правила гри), структуровані описи ігрового світу (монстри, локації, артефакти), сценарні матеріали (готові пригоди та модулі), приклади наративу, зокрема діалоги у стилі Майстра гри.

У випадку *Call of Cthulhu* корпус може включати книгу правил та ігрові модулі, зокрема "Clean Up, Aisle Four!" [5]. При цьому сценарні матеріали можуть використовуватись як безпосередньо (у вигляді готових пригод), так і як джерело для генерації нових сюжетів.

Для подальшого використання в RAG-пайплайні корпус розбивається на фрагменти (*chunks*) фіксованого розміру з перекриттям між сусідніми фрагментами, що дозволяє зберігати контекст на межах розбиття.

Кожен фрагмент корпусу перетворюється у векторне представлення (*embedding*) за допомогою моделі ембедингів, після чого зберігається у векторній базі даних. Наприклад, у системі CoCai для цього використовується Qdrant як векторна база та модель *openai-embed-text* для побудови ембедингів [5].

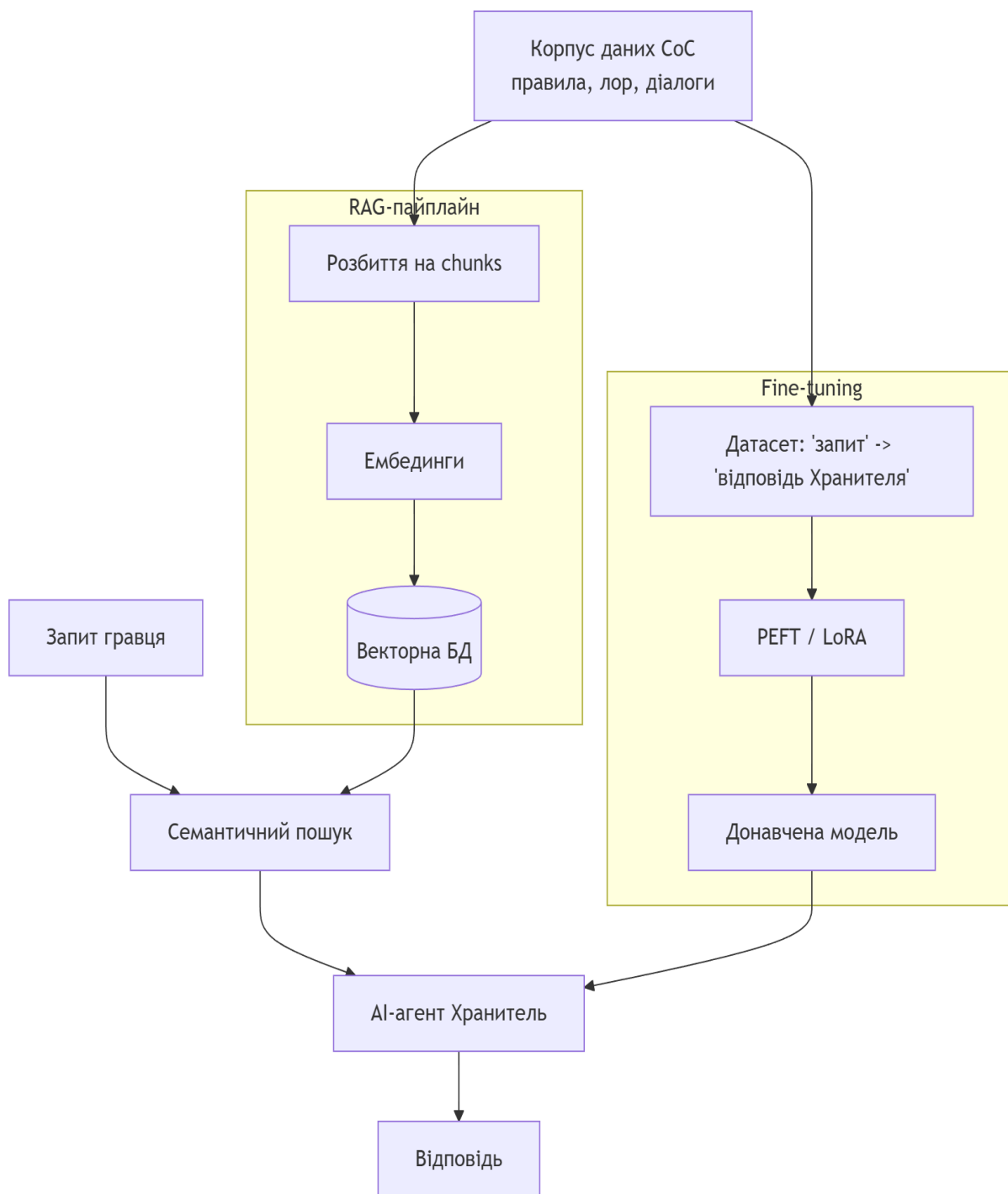


Рисунок 1 – Схема запропонованого методу на прикладі Call of Cthulhu

При надходженні запиту від користувача виконується семантичний пошук: запит кодується у векторному просторі, після чого за метрикою близькості (наприклад, cosine similarity) визначаються найбільш релевантні фрагменти корпусу. Такий підхід дозволяє знаходити інформацію за змістовною подібністю, а не лише за збігом ключових слів.

Відібрані фрагменти інтегруються у контекст запиту та передаються до мовної моделі, забезпечуючи її актуальними доменними знаннями під час генерації відповіді.

Паралельно з побудовою RAG-пайплайну виконується fine-tuning базової мовної моделі на датасеті у форматі «запит – еталонна відповідь Майстра». Навчання здійснюється з використанням підходу Parameter-Efficient Fine-Tuning (PEFT), зокрема технології LoRA, що дозволяє суттєво знизити обчислювальні витрати порівняно з повним донавчанням [2].

У результаті fine-tuning модель адаптується до домену: засвоює специфічну термінологію, стиль нарації Майстра гри та типові шаблони інтерпретації ігрових механік. Це також покращує її здатність узгоджено використовувати фрагменти правил, отримані через RAG, під час генерації відповіді.

Вибір конкретної базової моделі для донавчання є предметом подальшого дослідження; основним критерієм відбору слугуватиме здатність моделі ефективно адаптуватись до домену за допомогою PEFT/LoRA при обмежених обчислювальних ресурсах.

Під час генерації відповіді модель отримує два джерела знань: параметричні знання, засвоєні під час fine-tuning, та контекстуальні знання, отримані через RAG. У разі суперечності між ними, рекомендується надавати пріоритет контексту з RAG як більш точному та верифікованому джерелу правил гри. Таким чином, fine-tuning забезпечує стиль і доменне розуміння, тоді як RAG відповідає за фактичну точність.

Запропонований метод спрямований на підвищення якості відповідей AI-агента у домені настільних рольових ігор. Очікується, що поєднання RAG та fine-tuning дозволить досягти більшої узгодженості відповідей із правилами гри, а також забезпечить відповідність стилю нарації Майстра гри. Крім того, використання RAG забезпечує доступ до актуальних і специфічних доменних знань без необхідності повного перенавчання моделі.

Водночас підхід має низку обмежень. Якість відповідей суттєво залежить від повноти та якості корпусу даних, а також від ефективності механізму пошуку релевантних фрагментів. Помилки на етапі retrieval можуть призводити до некоректних або неповних відповідей. Крім того, навіть після fine-tuning модель може генерувати неточні або вигадані твердження, особливо у випадках неоднозначних або неповних правил.

Додатковим обмеженням є відсутність формальної перевірки коректності згенерованих відповідей, що ускладнює гарантування їх повної достовірності.

Таким чином, аналіз методу реалізації AI-агента для домену настільних рольових ігор на основі поєднання RAG та доменного fine-tuning вказує на те, що жоден із підходів окремо не забезпечує достатньої достовірності в цьому домені, тоді як їх комбінування взаємно компенсує слабкі сторони. Запропонований метод є узагальненим і може бути застосований до різних НРІ. Порівняльна оцінка підходів за кількісними метриками є предметом подальшого дослідження.

Список використаних джерел

1. Giann K. How to Build an AI Dungeon Master for Tabletop RPGs. Medium, 2025. URL: <https://medium.com/@kgiannopoulou4033/how-to-build-an-ai-dungeon-master-for-tabletop-rpgs-548b7dd6d1ee>

2. IBM Think. RAG vs. fine-tuning vs. prompt engineering. IBM, 2024. URL: <https://www.ibm.com/think/topics/rag-vs-fine-tuning-vs-prompt-engineering>
3. Wu, X.-K.; Chen, M.; Li, W.; Wang, R.; Lu, L.; Liu, J.; Hwang, K.; Hao, Y.; Pan, Y.; Meng, Q.; et al. LLM Fine-Tuning: Concepts, Opportunities, and Challenges. *Big Data and Cognitive Computing*. 2025. Vol. 9.
4. Muhammad Arslan, Hussam Ghanem, Saba Munawar, Christophe Cruz, A Survey on RAG with LLMs. *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 246. P. 3781-3790.
5. StarsRail. CoCai: A chatbot that plays Call of Cthulhu powered by AI. GitHub, 2024. URL: <https://github.com/StarsRail/Cocai>

МОДЕЛЬ ПРОГРАМНОЇ АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ REINFORCEMENT LEARNING В АЛГОРИТМ ALNS

Островецький Сергій Володимирович,
аспірант, 122 Комп'ютерні науки
sergeu.ostrovetskiu.2001@gmail.com
ORCID: 0009-0005-4429-6071

Науковий керівник: Полуектова Наталія Робертівна,
д.е.н, професор кафедри комп'ютерних наук,
Запорізький національний університет,
npoluektova68@gmail.com,
ORCID: 0009-0005-9637-4916

Задача маршрутизації транспорту з часовими вікнами (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW) полягає у побудові оптимальних маршрутів для обслуговування клієнтів у задані часові інтервали при мінімізації логістичних витрат. Традиційно найвищу ефективність у цій сфері демонструє метаевристичний алгоритм Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), вперше запропонований С. Ропке та Д. Пісінгером [1]. Однак класичний ALNS використовує реактивну схему вибору евристичних операторів (рулетковий механізм), яка спирається лише на історичну успішність і є «сліпою» до поточного стану простору рішень.

Сучасні дослідження доводять, що використання глибокого навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning, DRL) здатне суттєво покращити процеси комбінаторної оптимізації [2, 3]. Втім, як показує досвід попередників, спроби прямої інтеграції існуючих нейронних мереж в ітеративні алгоритми локального пошуку часто стикаються з проблемою обчислювального «вузького місця» (bottleneck): витрати часу на виклик важкої моделі на кожній з тисяч ітерацій нівелюють переваги від покращення якості рішень[4].

Для створення підґрунтя до вирішення цієї проблеми спочатку було розроблено власну фундаментальну базу для машинного навчання — механізм збору даних та згенеровано відкритий структурований датасет «VRPTW-Search-Trajectories-Dataset». Цей набір даних містить понад 12 тисяч записів марковських переходів (S-A-R-S-A) [5] і виступає базисом для подальшого офлайн-навчання інтелектуальних агентів.

Маючи сформовану базу даних та враховуючи недоліки існуючих підходів до інтеграції нейромереж, наступним кроком та безпосередньою метою даного дослідження була розробка та обґрунтування моделі програмної архітектури розв'язувача. Пропонується архітектурний патерн на базі принципів слабкої зв'язності (loose coupling) та MLOps, який фізично та логічно розділяє ресурсомісткі процеси. Це дозволяє наскрізно інтегрувати цикл офлайн-

навчання RL-моделей та забезпечити їх високоефективний інференс (inference) у ядрі алгоритму ALNS без втрати швидкодії.

Розроблена модель архітектури, складається з чотирьох інтегрованих підсистем (рисунок 1):

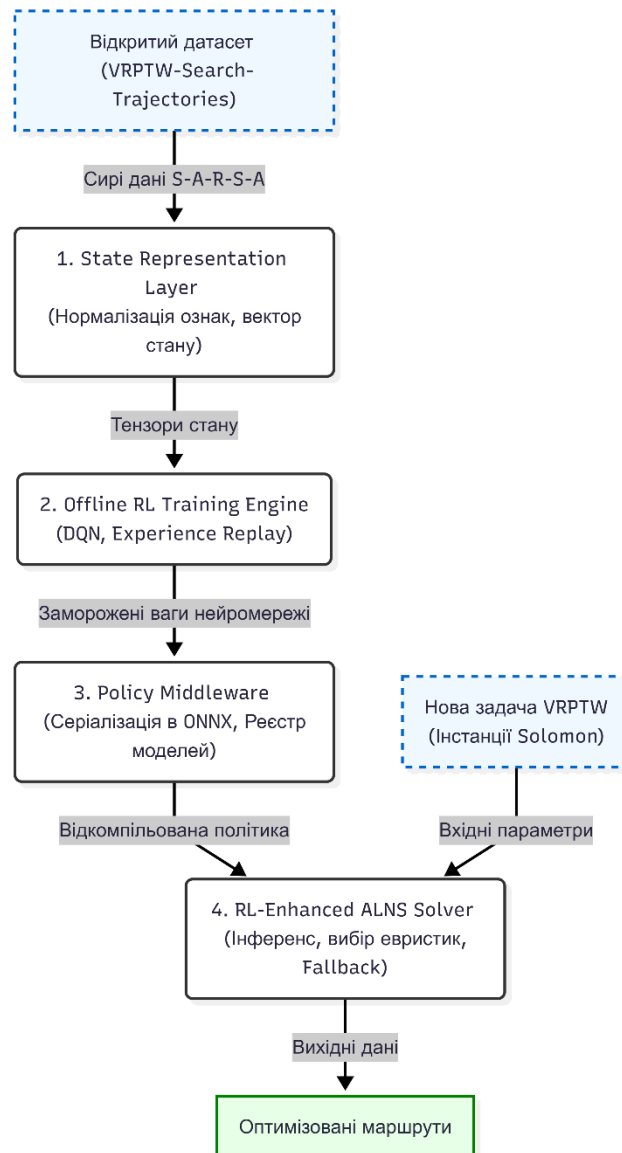


Рисунок 1 - Модель програмної архітектури наскрізного циклу навчання та RL-інференсу

1. Підсистема підготовки даних та репрезентації стану (State Representation Layer). Цей модуль відповідає за трансформацію сирих даних з датасету [5] у тензорний формат, придатний для обробки нейронною мережею. Вектор стану S_t формується з нормалізованих значень поточного розв'язку: відносної вартості (відхилення від найкращого знайденого рішення), середньої довжини маршрутів, кількості задіяних транспортних засобів та сумарного штрафу за порушення часових вікон. Концепт модуля передбачає обов'язкову

стандартизацію цих ознак (Z-score normalization), що є критично важливим для стабілізації градієнтів під час навчання агента.

2. Модуль офлайн-навчання (Offline RL Training Engine). Оскільки взаємодія з реальним середовищем ALNS під час тренування є надто повільною, архітектура спирається на парадигму Offline RL (навчання на фіксованому наборі даних без додаткової експлорації) [6]. Модуль реалізує архітектуру Deep Q-Network (DQN). Дія A_t в цій системі є дискретною та являє собою вибір конкретної пари операторів «руйнування-відновлення» з множини класичних евристик [1]. Модуль проєктується з використанням механізму Experience Replay: батчі переходів (S_t, A_t, R_t, S_{t+1}) випадково семплюються з датасету [5]. Функція втрат оптимізується таким чином, щоб нейромережа навчилася апроксимувати функцію корисності $Q(s, a)$ — очікувану сумарну винагороду (зменшення вартості маршруту) від застосування певної комбінації евристик у заданому стані. Такий підхід переносить обчислювальне навантаження глибокого навчання на стадію попередньої підготовки (претренінгу).

3. Проміжний шар оптимізації та версіонування (Policy Middleware). Для подолання затримок (latency) під час інтеграції, архітектура виключає використання важких фреймворків (PyTorch/TensorFlow) на етапі роботи кінцевого розв'язувача. Підхід передбачає, що після завершення навчання у підсистемі 2, граф нейронної мережі та її ваги заморожуються і експортуються у високопродуктивний серіалізований формат (ONNX або TorchScript). Цей шар також виконує роль реєстру моделей (Model Registry), дозволяючи розв'язувачу динамічно підвантажувати специфічні політики залежно від типу вхідної інстанції VRPTW.

4. Модифікований розв'язувач з RL-інференсом (RL-Enhanced ALNS Solver). У ядрі класичного розв'язувача модуль адаптивного вибору повністю замінюється на оптимізований рушій прийняття рішень (Inference Engine). Робочий цикл модифікованого ALNS передбачає наступну логіку.

- Оцінка: алгоритм за $O(1)$ часу збирає метрики поточного розв'язку.
- Процес прийняття рішень навченою моделлю (інференс): метрики передаються у відкомпільовану ONNX-модель, яка виконує прямий прохід (forward pass) із субмілісекундною затримкою та повертає вектор Q-значень.
- Дія: розв'язувач обирає пару операторів з максимальним Q-значенням ($\arg \max Q$).
- Запобіжник (Fallback): до архітектури інтегровано механізм є-жадібного вибору. Якщо розв'язувач потрапляє у стан, який суттєво відрізняється від даних з навчальної вибірки (out-of-distribution), або фіксується стагнація пошуку, система тимчасово повертається до стохастичного вибору евристик. Це рішення базується на рекомендаціях з управління адаптивними метаевристичними, гарантуючи диверсифікацію.

Запропонована модель програмної архітектури дозволяє подолати розрив між теоретичним потенціалом методів штучного інтелекту та їх практичним впровадженням у системи транспортної логістики. Передбачається, що використання парадигми Offline RL на базі підготовленого датасету дозволить

ефективно навчити інтелектуального агента політикам оптимізації без витрат на онлайн-симуляції. Спроектowana теоретична ізоляція процесу навчання від безпосереднього розв'язувача за допомогою компонентів проміжного шару та серіалізації моделей в ONNX має на меті зберегти швидкодiю алгоритму ALNS, одночасно надавши йому переваги «розумного», залежного від контексту вибору евристик. Подальші етапи дослідження будуть спрямовані на безпосередню практичну розробку запропонованого програмного комплексу, його тестування на надвеликих інстанціях (понад 1000 клієнтів) та порівняння метрик якості інтелектуального пошуку з класичними реалізаціями.

Список використаних джерел

1. Ropke S., Pisinger D. An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*. 2006. Vol. 40, no. 4. P. 455–472. DOI: <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135>
2. Kool W., van Hoof H., Welling M. Attention, Learn to Solve Routing Problems! *International Conference on Learning Representations (ICLR 2019)*. New Orleans, 2019. URL: <https://openreview.net/forum?id=ByxBFsRqYm>
3. Nazari M., Oroojlooy A., Snyder L. V., Takáč M. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Advances in Neural Information Processing Systems 31 (NeurIPS 2018)*. — Curran Associates, Inc., 2018. URL: <https://papers.nips.cc/paper/8190-reinforcement-learning-for-solving-the-vehicle-routing-problem>
4. Reijnen R., Zhang Y., Lau H. C., Bukhsh Z. A. Online control of adaptive large neighborhood search using deep reinforcement learning. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS)*. 2024. Vol. 34, no. 1. P. 475–483. DOI: <https://doi.org/10.1609/icaps.v34i1.31507>
5. Островецький С. В. VRPTW-Search-Trajectories-Dataset [Електронний ресурс] GitHub. 2026. URL: <https://github.com/SerganO/VRPTW-Search-Trajectories-Dataset> (дата звернення: 03.05.2026).
6. Levine S., Kumar A., Tucker G., Fu J. Offline Reinforcement Learning: Tutorial, Review, and Perspectives on Open Problems // arXiv preprint arXiv:2005.01643. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.01643>

УДК 004.92:004.8

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ТИПОГРАФІЧНИХ ПАР ШРИФТІВ ДЛЯ ДИЗАЙНЕРСЬКИХ ЗАДАЧ

Панасевич Катерина Олександрівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
katiapanasevych@gmail.com

Науковий керівник: Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
itu@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-9441-6669

Постановка проблеми. Розвиток типографіки є результатом багатоміжової еволюції письма та технологій відтворення тексту, що суттєво вплинули на формування та різноманіття шрифтових форм [1]. З огляду на значну кількість доступних гарнітур і варіацій їх накреслень кількість можливих комбінацій є надзвичайно великою. Це ускладнює вибір та суттєво збільшує часові витрати дизайнера на пошук оптимального рішення.

У таких умовах доцільним є застосування автоматизованих інформаційних систем, здатних забезпечити структурований підхід до підбору шрифтових пар. Використання засобів автоматизації дозволяє систематизувати типографічні характеристики гарнітур, звузити множину можливих варіантів відповідно до заданих параметрів та сформулювати рекомендації щодо сумісних поєднань.

Більшість існуючих систем працюють на основі чітко визначених правил або статистичних співвідношень між категоріями шрифтів і при цьому не враховують семантичний зміст тексту [2]. Крім того, відсутність інструментів для налаштування параметрів генерації обмежує можливості користувача та знижує гнучкість застосування таких рішень у творчих проєктах.

Проблема автоматизованого підбору типографічних пар шрифтів останніми роками активно досліджується у контексті застосування методів машинного навчання та аналізу візуальних характеристик шрифтів. У роботі Sh. Jiang та ін. запропоновано підхід автоматичного формування шрифтових пар на основі навчання візуальних взаємозв'язків між шрифтами із використанням великої бази реальних документів [3]. Автори застосували методи *metric learning* та *k-nearest neighbors* для визначення гармонійних шрифтових комбінацій, що дозволило автоматизувати процес рекомендації шрифтів для дизайнерських задач.

У сучасних дослідженнях також значна увага приділяється семантичному аналізу типографіки. Зокрема, у роботі Y. Tatsukawa та ін. представлено модель *FontCLIP*, яка поєднує семантичні можливості *vision-language* моделей із

типографічними характеристиками шрифтів [4]. Запропонований підхід забезпечує пошук і підбір шрифтів на основі семантичних атрибутів та текстових описів, що відкриває перспективи створення інтелектуальних систем генерації шрифтових пар для дизайнерських застосувань.

Виклад основного матеріалу. Розроблена автоматизована система, що надає користувачам персоналізовані рекомендації щодо поєднання шрифтів на основі семантичного аналізу тексту та заданих параметрів оформлення, має трирівневу клієнт-серверну архітектуру.

Рівень користувацького інтерфейсу, або клієнтська частина, забезпечує взаємодію користувача із системою та виступає сполучною ланкою між користувацькими запитами й бізнес-логікою сервера.

Серверна частина, яка є ядром розроблюваної системи, зосереджує логіку функціонування, а саме, лінгвістичний розбір тексту, пошук семантичних зв'язків та математичне ранжування шрифтових пар. Сервер обробляє отриманий запит, звертається до бази даних і повертає готовий результат користувачу.

Фундаментом для накопичення та структурування інформації в системі є рівень збереження даних. Його реалізовано на основі реляційної системи управління базами даних SQLite.

Для відображення загальної структури та логіки взаємодії компонентів використано модель у стандарті IDEF0 (рисунок 1), яка демонструє як користувацький інтерфейс та серверна частина взаємодіють для обробки запитів користувачів, виконання лінгвістичного аналізу, семантичного пошуку та формування персоналізованих рекомендацій шрифтових пар.



Рисунок 1 – Функціональна модель автоматизованої системи (IDEF0 діаграма)

Відповідно до представленої діаграми, центральним процесом системи є «Автоматизований підбір шрифтових пар». Цей блок інтегрує в собі всі логічні процеси системи та забезпечує перетворення необробленого запиту користувача

у готове візуальне рішення. Його функціонування базується на взаємодії вхідних даних, засобів управління та технічних механізмів.

Вхідні дані визначаються текстовим описом проекту та набором технічних параметрів. Це та інформація, яка за ініціації користувача сприяє пошуку і звужує підбір за мовною підтримкою та візуальною контрастністю майбутньої пари.

Вхідна інформація від користувача може надходити у двох форматах: довільного текстового опису проекту українською/ англійською мовами або ж у вигляді фіксованих параметрів, що обираються через графічний інтерфейс.

Управління основним процесом реалізується на основі заздалегідь визначених правил. До них належать алгоритм обробки природної мови та формалізовані принципи типографічної сумісності шрифтів.

Алгоритм обробки природної мови забезпечує обробку запиту користувача та формування рекомендацій типографічно узгоджених шрифтових пар на основі семантичного аналізу тексту. Водночас правила сумісності шрифтів обмежують простір вибору, залишаючи лише ті шрифтові пари, що відповідають критеріям візуальної гармонії та стилістичної узгодженості.

З математичної точки зору система базується на трансформації неструктурованого текстового запиту у векторне представлення [5] з подальшим обчисленням ступеня відповідності шрифтових пар. Запропонований підхід фактично впроваджує у систему елементи машинного навчання (Machine Learning), оскільки дає змогу формувати персоналізовані та семантично релевантні рекомендації.

В основі роботи програмного комплексу лежить використання NLP (Natural Language Processing) із бібліотекою spaCy [6], що дозволяє комп'ютерам розуміти та обробляти людську мову. Використовується модель, орієнтована на україномовну аудиторію, а саме uk_core_news_lg [7]. Це велика попередньо натренована нейронна мережа, навчена на мільйонах україномовних реченнях та здатна розпізнавати зв'язки між словами та витягувати їх семантичне значення.

Основою інформаційного наповнення системи є інтеграція із зовнішнім хмарним ресурсом Google Fonts API. Використання відкритого вихідного коду дозволяє миттєво завантажувати необхідні гарнітури та автоматично отримувати актуальні дані про шрифти: назви, категорії, атрибути (товщина, стиль, підтримка мов) та інші характеристики шрифтів. Це значно знижує навантаження на локальні ресурси, забезпечує ефективну взаємодію із зовнішнім сервісом та доступ до актуальних версій шрифтів.

Технічні механізми у процесі є ресурси, що забезпечують виконання функцій системи. До таких інструментів належать: програмне забезпечення, клієнтська частина (інтерфейс), серверна частина та база даних шрифтів.

Кінцевим результатом роботи є сформовані релевантні шрифтові пари, у зручному для візуального оцінювання вигляді. Вони проходять систему фільтрації та ранжування і готові до безпосереднього перегляду користувачем.

Панель керування та блок візуалізації результатів системи представлено на рисунку 2.

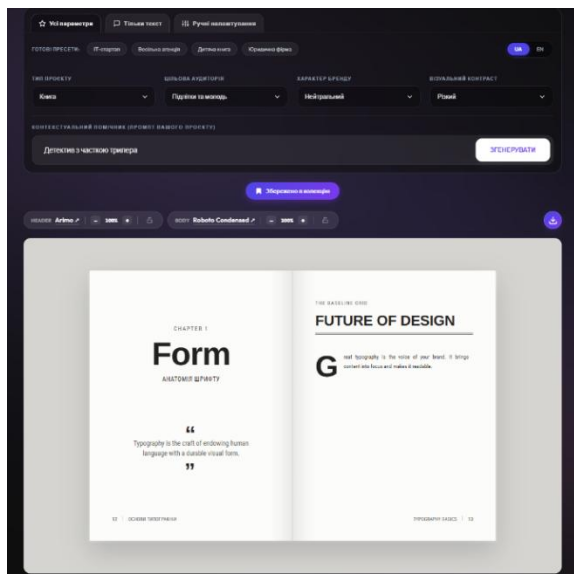


Рисунок 2 – Панель керування та блок візуалізації результатів

Результати підбору інтегруються у контекстні інтерактивні макети: веб-сайт, мобільний додаток, глянцева журнал, постер, книга та візитка.

Висновки. Реалізоване рішення системи забезпечує автоматизацію складного процесу підбору шрифтових гарнітур шляхом використання методів семантичного аналізу тексту. Це створює передумови для широкого практичного застосування системи у сфері графічного дизайну та суміжних галузях, пов'язаних із розробленням і візуальним оформленням цифрового контенту.

Список використаних джерел

1. Ambrose G., Harris P. *The Fundamentals of Typography*. 2nd ed. Lausanne: AVA Publishing SA, 2011. 192 p.
2. Kulahcioglu T., De Melo G. Semantics-aware typographical choices via affective associations. *Language Resources and Evaluation*. 2021. Vol. 55. № 1. P. 105-126. DOI: 10.1007/s10579-020-09499-0.
3. Jiang S., O'Donovan P., Woodford O., Iqbal K. Graphic design with large-scale font data. *Human Factors in Computing Systems. Denver: proceedings of the 2017 CHI Conference*. USA, 2017. P. 3130-3142. DOI: 10.1145/3025453.3026017.
4. Tatsukawa Y., Shen I.-C., Qi A., Koyama Y., Igarashi T., Shamir A. FontCLIP: A semantic typography visual-language model for multilingual font applications. *Computer Graphics Forum*. 2024. DOI: 10.1111/cgf.15043.
5. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G. S., Dean J. Distributed Representations of Words and Phrases and Their Compositionality. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2013. URL: https://www.researchgate.net/publication/257882504_Distributed_Representations_of_Words_and_Phrases_and_their_Compositionality.
6. spaCy for Natural Language Processing. GeeksforGeeks. 2026. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/spacy-for-natural-language-processing/>
7. uk_core_news_lg: Ukrainian news model for spaCy. spaCy Models Documentation. URL: https://spacy.io/models/uk#uk_core_news_lg.

ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАУКОВИХ ТЕКСТІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПУБЛІКАЦІЙ

Реденський Олександр Олександрович,
студент магістратури,
oleksandr.redenskyi@knu.ua

Котляр Олег Васильович,
студент магістратури,
olehkotliar@knu.ua

Науковий керівник: Духновська Ксенія Костянтинівна,
к. т. н., доцент кафедри програмних систем і технологій,
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
kseniia.dukhnovska@knu.ua,
ORCID: 0000-0002-4539-159X

У сучасних наукових інформаційних середовищах обсяг публікацій зростає швидше, ніж дослідник може опрацювати вручну. Через це особливого значення набувають рекомендаційні механізми, здатні не лише знаходити документи за прямим збігом термінів, а й урахувати змістову близькість робіт. Для такої задачі ключовим елементом є модель семантичного представлення тексту, оскільки саме якість ембедингів визначає подальшу ефективність кластеризації, персоналізації та ранжування результатів пошуку.

Метою дослідження є порівняння моделей SciBERT [1], SciNCL [2], SPECTER v1 [3] та SPECTER v2 [4] для задачі побудови векторних представлень наукових публікацій. SciBERT є мовною моделлю, адаптованою до наукових текстів, однак вона не оптимізується безпосередньо для документної подібності. SPECTER v1 і SPECTER v2 орієнтовані на представлення наукових робіт з урахуванням зв'язків між публікаціями, а SciNCL використовує контрастивне навчання для підвищення якості наукових ембедингів. Тому саме ці моделі доцільно порівнювати в контексті рекомендації наукових матеріалів.

Важливою відмінністю між розглянутими підходами є рівень, на якому модель формує ознаки документа. Універсальні трансформерні архітектури здебільшого добре відображають локальний мовний контекст, однак для рекомендації наукових публікацій цього недостатньо. У такій задачі суттєвими є не лише окремі терміни, а й зв'язок між проблематикою, методами, об'єктом дослідження та місцем роботи у ширшій структурі наукової комунікації. Саме тому моделі, що враховують цитування або документну подібність, мають теоретичну перевагу над моделями, навченими переважно на мовному моделюванні.

Експериментальне оцінювання виконувалося за однаковим сценарієм для всіх моделей. Для кожної публікації будувалася ембединг, після чого здійснювався семантичний пошук у спільному корпусі документів. У ролі пошукового запиту використовувалося семантичне представлення публікацій, після чого система повертала найближчі документи з корпусу OpenAlex. Це дало змогу порівняти не загальні мовні властивості моделей, а їхню практичну придатність до пошуку наукових робіт, близьких до інформаційної потреби дослідника. Основною метрикою обрано *normalized discounted cumulative gain* (nDCG), оскільки вона враховує не тільки наявність релевантних матеріалів у результатах, а й їхні позиції у ранжованому списку. Додатково використано *Precision*, *Recall*, *F1* та *mean reciprocal rank* (MRR).

Для забезпечення коректності порівняння всі моделі оцінювалися в однакових умовах: використовувався той самий набір документів, однакова логіка формування пошукового запиту та однакові метрики якості. Такий підхід мінімізує вплив сторонніх факторів і дозволяє пов'язувати відмінності в результатах саме з властивостями ембедингів.

Оцінювання здійснювалося з позиції практичного користувача рекомендаційної системи. Найбільшу вагу має верхня частина видачі, оскільки дослідник зазвичай переглядає лише перші результати. З цієї причини nDCG і MRR є особливо показовими: перша метрика демонструє якість упорядкування релевантних документів, а друга відображає, наскільки швидко користувач знаходить перший корисний матеріал. *Precision*, *Recall* та *F1* доповнюють аналіз і дають змогу оцінити баланс між точністю та повнотою.

Для оцінювання було завантажено обмежений корпус робіт OpenAlex [5], який склав близько 200000 англomовних документів, обмежених галузями обробки великих даних та пошуку інформації. Оскільки ручне експертне маркування великого корпусу наукових публікацій є трудомістким і погано масштабується, для формування множини релевантних матеріалів для тестування у роботі застосовано слабко-керований підхід. Релевантними вважалися публікації, які мають об'єктивний зв'язок із науковим профілем автора або мають цитатні зв'язки з роботами дослідника. Такий принцип дозволяє наблизити тестування до реального сценарію рекомендації, у якому система має знаходити не випадково подібні тексти, а матеріали, змістово пов'язані з попередньою науковою активністю користувача.

Під час формування тестової вибірки враховувалося, що релевантність у науковому пошуку має багатофакторний характер. Цитування відображає наукову спадкоємність і використання спільної джерельної бази, а співавторство може вказувати на належність до спорідненого дослідницького напрямку. Поєднання цих ознак зменшує ризик надто вузького оцінювання, коли релевантними визнаються лише документи з прямим лексичним збігом, і водночас обмежує потрапляння до еталонної множини випадкових тематично далеких матеріалів.

Додатково враховувалося часове розділення публікацій автора. Такий принцип дозволяє моделювати реалістичний сценарій, у якому система формує

рекомендації на основі вже наявного профілю дослідника, а якість перевіряється за роботами, що з'являються пізніше або мають змістовий зв'язок з подальшим розвитком його наукових інтересів. Це зменшує ризик некоректного оцінювання, коли система фактично отримує доступ до інформації, яка в реальному моменті рекомендації ще не була б доступною. Критерії, що застосовувались для формування релевантної множини документів для тестування, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Критерії формування релевантної множини для тестування

Критерій	Зміст критерію	Призначення в оцінюванні
Цитатні зв'язки	Наявність посилань між роботами автора та потенційно релевантними публікаціями	Відображає наукову спадкоємність і зв'язок джерельної бази
Співавторство	Наявність спільних авторів або належність до близького дослідницького кола	Допомагає врахувати колабораційний контекст досліджень
Часове розділення	Використання попередніх робіт для профілювання та пізніших робіт для перевірки	Наближує експеримент до реального сценарію рекомендації

Подана схема критеріїв не замінює експертного оцінювання, однак задає відтворювану основу для порівняння моделей. Вона дає змогу однаково застосовувати правила релевантності до всіх варіантів ембедингів і тим самим уникати ситуації, коли перевага однієї моделі виникає через інший спосіб добору тестових прикладів. Результати порівняння моделей наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння моделей ембедингів для задачі рекомендації наукових публікацій

Модель	nDCG	Precision	Recall	F1	MRR
SciBERT	0.008	0.004	0.007	0.005	0.014
SciNCL	0.078	0.047	0.128	0.058	0.134
SPECTER v1	0.080	0.027	0.086	0.035	0.127
SPECTER v2	0.081	0.066	0.105	0.067	0.146

Наведені результати свідчать, що SciBERT має найнижчі значення всіх метрик. Це підтверджує, що адаптації до наукового корпусу недостатньо для якісного пошуку подібних документів, якщо модель не навчалася з урахуванням задачі документної близькості. SciNCL демонструє суттєво кращі результати, особливо за Recall, що вказує на її здатність знаходити більшу частку релевантних матеріалів.

Порівняння також показує, що високе значення окремої метрики не завжди є достатньою підставою для вибору моделі. Наприклад, SciNCL демонструє порівняно високу повноту, однак поступається SPECTER v2 за Precision, F1 та MRR. Для рекомендаційної системи це означає, що модель може знаходити більше потенційно релевантних робіт, але не завжди розміщує їх у найбільш

корисному для користувача порядку. Тому остаточний вибір має ґрунтуватися на сукупності метрик.

SPECTER v1 і SPECTER v2 показують найкращі значення nDCG серед розглянутих моделей, що є важливим для задачі ранжованої рекомендації. При цьому SPECTER v2 має найвищі Precision, F1 та MRR. Це означає, що модель не лише знаходить релевантні документи, а й краще розміщує їх у верхній частині списку, тобто формує практично кориснішу видачу для користувача.

Отримані результати узгоджуються з природою розглянутих моделей. SPECTER v2 краще відповідає вимогам рекомендаційної системи, оскільки її вектори відображають не лише мовну подібність, а й змістові та структурні зв'язки між науковими роботами. Для системи рекомендації наукових матеріалів це особливо важливо, адже надалі ембединги використовуються не ізольовано, а як основа для побудови тематичного профілю автора, кластеризації його публікацій і гібридного пошуку.

Практичне значення вибору SPECTER v2 полягає в тому, що якісніші ембединги покращують не лише початковий семантичний пошук, а й усі наступні етапи роботи системи. Якщо векторні представлення точніше відображають зміст публікацій, то тематичні кластери автора стають компактнішими, центроїди інтересів – репрезентативнішими, а гібридне ранжування – стабільнішим. Отже, вибір моделі ембедингів впливає на архітектуру рекомендаційної системи загалом, а не лише на один із її модулів.

Отже, SPECTER v2 доцільно використовувати як базову модель для побудови ембедингів у системі рекомендації наукових матеріалів. Її перевага полягає у збалансованому поєднанні точності, повноти та якості ранжування. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на порівняння додаткових моделей, донавчання на доменному корпусі, використання багатомовних наукових текстів і поєднання текстових ембедингів із графовими сигналами цитування.

Список використаних джерел

1. Iz Beltagy, Kyle Lo, Arman Cohan. SciBERT: A Pretrained Language Model for Scientific Text. *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)* (Hong Kong, 3-7 November 2019). New York, 2019. P. 3615–3620.
2. Malte Ostendorff, Nils Rethmeier, Isabelle Augenstein, Bela Gipp, Georg Rehm. Neighborhood Contrastive Learning for Scientific Document Representations with Citation Embeddings. *arXiv preprint arXiv:2202.06671v2*. 2022. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2202.06671>.
3. Arman Cohan et al. SPECTER: Document-level Representation Learning using Citation-informed Transformers. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (Online, 5-10 July 2020). 2020. P. 2270–2282.
4. Amanpreet Singh et al. SciRepEval: A Multi-Format Benchmark for Scientific Document Representations. *Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (Singapore, 6–10 December 2023) New York, 2023. Vol. 1 P. 5548–5566.
5. Priem J., Piwowar H., Orr R. OpenAlex: A fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts. *arXiv preprint arXiv:2205.01833*. 2022. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2205.01833>.

УДК 681.518.52:004.932:621.865.8

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАХВАТОМ МАНІПУЛЯТОРА РОБОТА

Руснак Андрій Михайлович, студент,
rusnak.and@gmail.com

Науковий керівник: Сегін Андрій Ігорович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри
спеціалізованих комп'ютерних систем
Західноукраїнського національного університету
andriy.segin@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-3556-248X

Ефективність сучасних роботизованих комплексів сортування в неструктурованому середовищі безпосередньо залежить від точності інтеграції маніпуляційних систем із засобами комп'ютерного зору [1]. Жорстко запрограмовані траєкторії руху втрачають актуальність, коли деталі подаються на робочу зону хаотично та з випадковою просторовою орієнтацією. Вирішенням цієї проблеми є побудова замкненого контуру управління на основі шестиосьового маніпулятора AR4, оснащеного системою технічного зору та адаптивним виконавчим пристроєм. Метою даної роботи є дослідження, розробка та практична верифікація чисельних методів управління, які дозволяють автоматизувати процес сортування штучних об'єктів з високою точністю розпізнавання та алгоритмічною надійністю.

Для реалізації поставлених завдань розроблено сортувальний стенд, зображений на рисунку 1, архітектура якого базується на плоскому столі розміром 1200x800 мм. Геометричний центр металевої основи маніпулятора AR4 прийнято за абсолютний нуль декартової системи координат (0, 0, 0), де вісь X спрямована вперед, вісь Y — вліво, а вісь Z — вертикально вгору. Над початком координат на висоті 650 мм стаціонарно закріплено цифрову камеру, оптична вісь якої орієнтована строго вертикально вниз. Робоча область камери формує площину сканування розміром 500x500 мм. Даний простір повністю перекривається робочою сферою маніпулятора, максимальний горизонтальний виліт якого без інструменту становить 670 мм, а з урахуванням адаптивного двопальцевого захоплювача довжиною 165.5 мм розширюється до 835.5 мм. Наявність конструктивної мертвої зони радіусом 150 мм навколо основи робота врахована в програмному забезпеченні для безпечного планування траєкторій.

Процес автоматичного сортування побудовано на базі замкненого контуру управління, логіка якого представлена на рисунку 2. Перетворення інформації починається з фіксації кадру, де нейромережа YOLOv8 локалізує предмет [2]. Далі за допомогою матриці гомографії піксельні координати перераховуються у фізичні міліметри на столі. На основі цих даних програмний модуль вирішує

обернену задачу кінематики, трансформуючи лінійні координати у кути повороту шести крокових двигунів маніпулятора. Математичний апарат опису механічної руки базується на матричному методі Денавіта-Хартенберга, де повне перетворення координат до кінцевого ефектора розраховується як добуток шести матриць однорідної трансформації ланок [3].

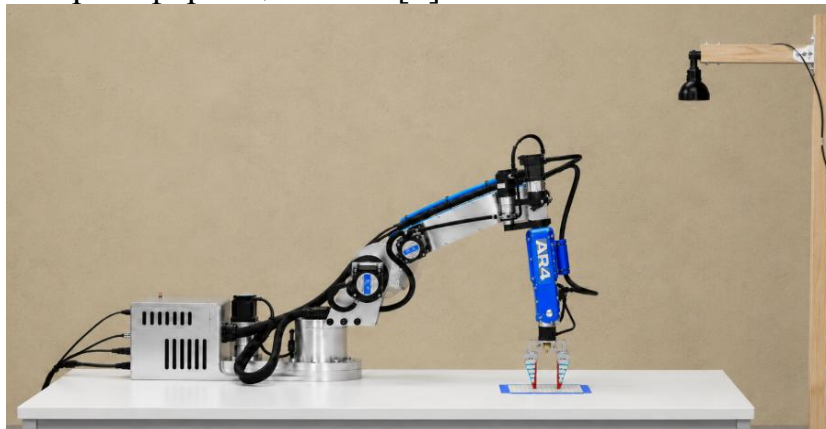


Рисунок 1 – Вигляд робочого станду

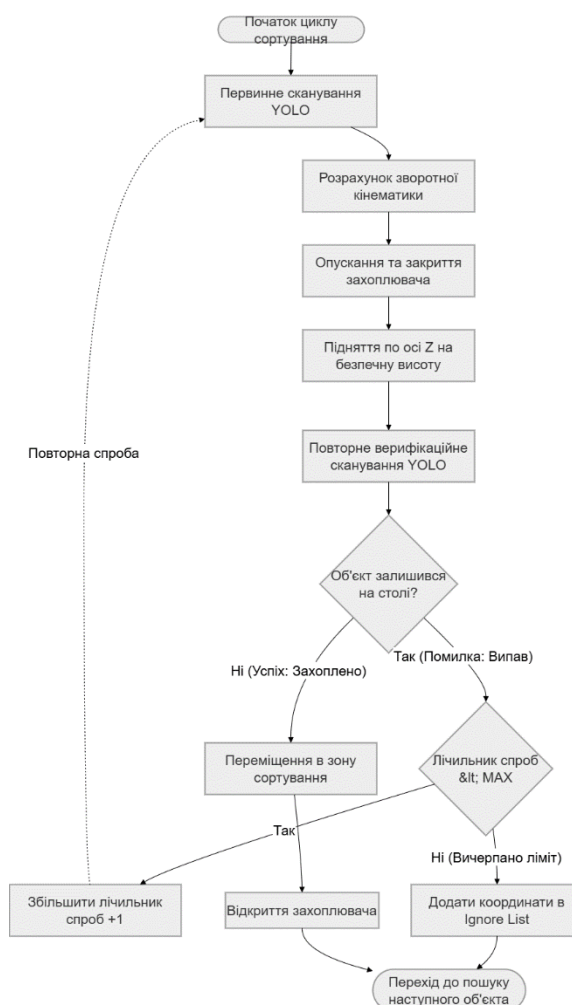


Рисунок 2 – Схема розпізнавання помилок за допомогою верифікаційного кадру

Чисельна верифікація математичної моделі проведена на прикладі сортування пластикового кубика розміром 20x20x20 мм. Система

комп'ютерного зору визначила центр об'єкта у точці з координатами $X = 250$ мм та $Y = 250$ мм відносно нуля бази. Лінійний радіус до об'єкта за теоремою Піфагора становить 353.55 мм, що відповідає середині робочої зони. Для виконання захоплення блок планування траєкторій згенерував вектор узагальнених кутів осей: $q_1 = 45^\circ$, $q_2 = 30^\circ$, $q_3 = 15^\circ$, $q_4 = 0^\circ$, $q_5 = 90^\circ$, $q_6 = 0^\circ$.

Оскільки в роботі застосовано адаптивний софт-гріппер довжиною 165.5 мм, для надійного утримання деталі та повного охоплення її бокових граней кінчики еластичних пальців повинні опуститися на висоту $Z = 2$ мм від поверхні столу. З урахуванням довжини захоплювача, цільова висота механічного фланця маніпулятора має становити 167.5 мм. Для перевірки відповідності виконано модифікацію зміщення останньої ланки: $d_6^* = 36.25 + 165.5 = 201.75$ мм. Повний матричний добуток для заданої конфігурації має вигляд:

$$T_6^0 = T_1^0(45^\circ) \cdot T_2^1(30^\circ) \cdot T_3^2(15^\circ) \cdot T_4^3(0^\circ) \cdot T_5^4(90^\circ) \cdot T_6^5(0^\circ)$$

Підставивши у рівняння геометричні константи маніпулятора AR4 ($a_1 = 64.2$ мм, $a_2 = 305$ мм, $d_1 = 169.77$ мм, $d_4 = 222.63$ мм) та модифіковане значення d_6^* , розраховано числові значення кожної матриці:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} 0.707 & 0 & 0.707 & 45.39 \\ 0.707 & 0 & -0.707 & 45.39 \\ 0 & 1 & 0 & 169.77 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad T_2^1 = \begin{bmatrix} 0.866 & -0.5 & 0 & 264.14 \\ 0.5 & 0.866 & 0 & 152.50 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} 0.966 & 0 & 0.259 & 0 \\ 0.259 & 0 & -0.966 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad T_4^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 222.63 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad T_6^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 201.75 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Після виконання матричного множення у програмному середовищі отримано підсумкову числову матрицю трансформації:

$$T_6^0 = \begin{bmatrix} -0.250 & -0.707 & 0.661 & 250.00 \\ 0.933 & -0.053 & 0.356 & 250.00 \\ -0.231 & 0.705 & 0.671 & 167.50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Елементи останнього стовпця результуючої матриці зафіксували координати положення інструменту: $P_x = 250.00$ мм, $P_y = 250.00$ мм, $P_z = 167.50$ мм. Збіг значень P_x та P_y з позицією кубика підтверджує точність розрахунку першої осі під кутом 45° . Координата висоти $P_z = 167.50$ мм доводить, що система автоматично врахувала конструктивну висоту основи маніпулятора $d1 = 169.77$ мм та нахил ланок. За такої умови кінчики еластичних губок гріппера опиняються точно на рівні 2 мм від столу, повністю перекриваючи 20-міліметрову висоту кубика, що забезпечує максимальну площу контакту еластичного матеріалу з об'єктом і виключає його вислизання.

Експериментальні дослідження точності розробленого роботизованого комплексу проводилися під час 100 циклів автоматичного сортування. Натурні випробування показали, що інтегрована нейронна мережа YOLOv8 забезпечує точність розпізнавання та класифікації хаотично розташованих об'єктів на рівні 84.2%. Завдяки використанню матриці гомографії та розв'язанню оберненої задачі кінематики, середня абсолютна похибка фізичного позиціонування захоплювача над деталлю склала менше 0.8 мм. При цьому створена логіка автоматичного виявлення помилок маніпулювання на основі оцінки метрики IoU продемонструвала високу алгоритмічну надійність, оперативно фіксуючи випадки випадання деталей та самостійно ініціюючи повторні цикли захоплення.

Висновки. На основі проведених досліджень створено інтелектуальну автоматизовану систему управління роботизованим маніпулятором AR4 для автономного сортування об'єктів, яка повністю реалізує поставлені технічні завдання. Чисельна верифікація кінематичних матриць підтвердила високу точність роботи комплексу із середньою похибкою позиціонування до 0.8 мм. Врахування геометричних параметрів м'якого двопальцевого захоплювача у загальній матриці трансформації забезпечує надійне обхоплення бічних граней об'єктів сортування. Впровадження розробленого апаратно-програмного комплексу дозволяє підвищити гнучкість сортувальних ліній та мінімізувати необхідність ручного втручання оператора.

Список використаних джерел

1. Вступ до робототехніки: механіка та керування. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 496 с.
2. Jocher G. Ultralytics YOLOv8: Real-time Object Detection and Image Segmentation. URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
3. Annin C. AR4 Robot Kinematics and Calibration Manual. Annin Robotics Publications, 2023. 45 p.

УДК 004.8:004.62:004.9

RAG-АГЕНТ ЯК ОСНОВА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ПОШУКУ РЕЛЕВАНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Созанський Андрій Богданович, студент
sozanskiyandriy@gmail.com

Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Об'єм даних в інформаційних системах швидко збільшується, що дуже ускладнює процес ефективного пошуку, фільтрування та обґрунтування релевантної інформації. Традиційні алгоритми пошуку, засновані на знаходженні ключових слів або статичних методів ранжування, рідко враховують контекст задачі, ціль користувача та семантичні зв'язки між даними. Саме тому актуальними є інтелектуальні методи обробки інформації, зокрема підхід Retrieval Augmented Generation (RAG), який включає в себе пошук документів та використання їх в подальшій генерації за допомогою великих чи малих мовних моделей [1].

Метою даної роботи є дослідження концепції RAG-агентів як основи програмних модулів пошуку релевантної інформації, а також аналіз їх архітектурних особливостей, принципів функціонування та напрямів в сучасних інформаційних системах.

Retrieval Augmented Generation – це підхід, що поєднує процес пошуку даних у зовнішніх ресурсах із генерацією відповідей мовних моделей. Ключовою відмінністю від класичних генеративних систем, що використовують лише отримані під час навчання дані, RAG використовує знайдений контекст із документів, баз знань або векторних сховищ. Це значно підвищує точність відповідей, забезпечує актуальність інформації та зменшує ризик недостовірних даних [2].

Наступним етапом покращення RAG є використання агентів, у яких мовна модель не лише генерує відповідь, а й бере участь у керуванні процесом пошуку інформації. RAG-агенти здатні аналізувати запит користувача, визначати його контекст, приймати рішення щодо необхідності додаткових запитань та формувати стратегії отримання релевантних даних. Такий підхід дозволяє реалізувати багатокрокове опрацювання запитів та підвищити обґрунтованість сформованих відповідей [2].

Роботу RAG-агента можна представити у вигляді графа, у межах якого кожен вузол відповідає за виконання окремого етапу опрацювання запиту, а переходи між ними визначають логіку функціонування системи (рисунок 1).

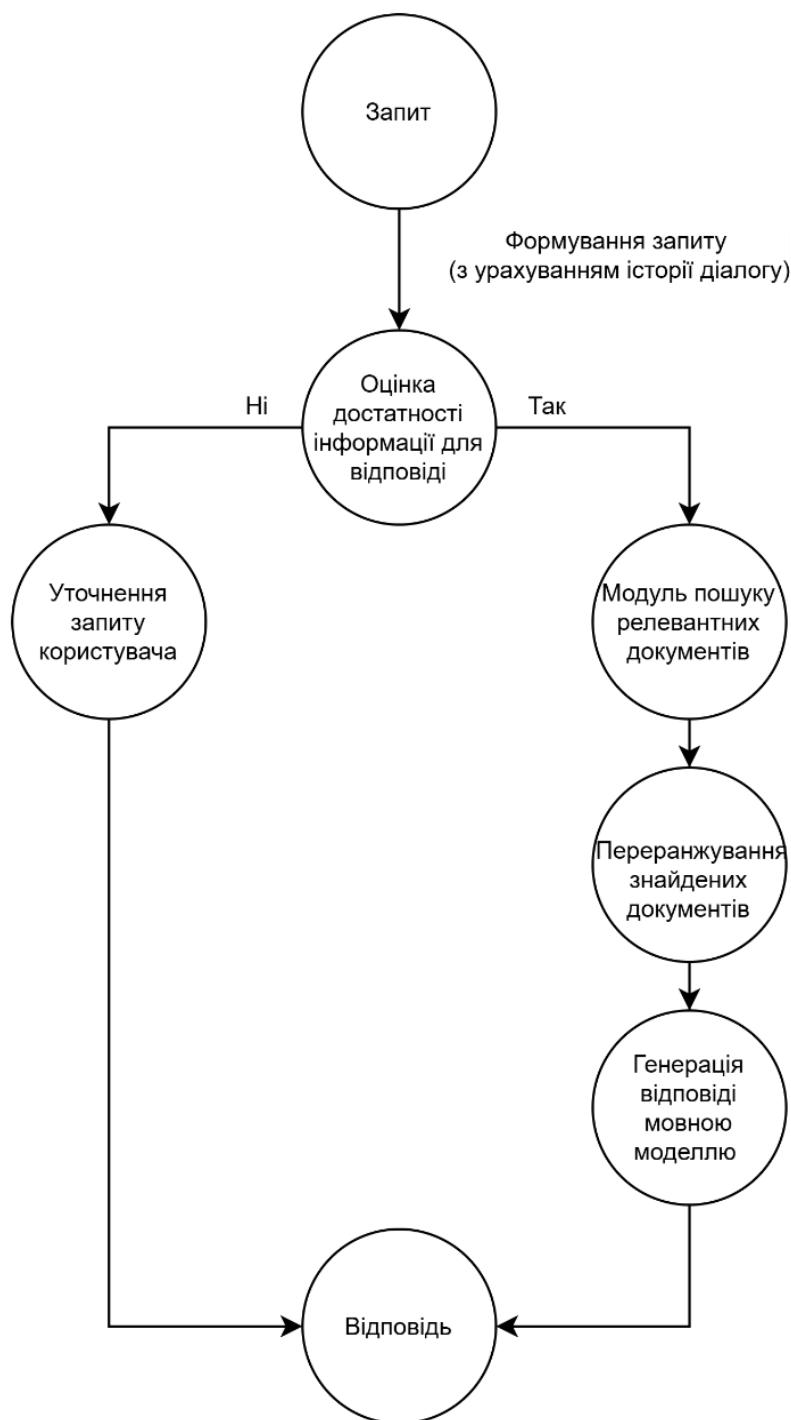


Рисунок 1 – Граф RAG-агента

Початковим етапом є формування запиту користувача з врахуванням історії діалогу. Далі агент здійснює оцінку запиту щодо достатності інформації для пошуку документів. У випадку, коли контексту не достатньо, система задає

уточнювальне запитання користувачеві. Це підвищує точність подальшого пошуку та дозволяє сформувати надійний контекст для генерації відповіді.

Якщо наявної інформації достатньо, запит передається до модуля пошуку документів, який взаємодіє з відповідними джерелами даних. Отримані результати підлягають переранжуванню для відбору найбільш точних фрагментів. Після цього здійснюється формування контексту, який передається до мовної моделі для генерації фінальної відповіді [3].

Представлений граф визначає послідовність дій агента, механізми прийняття рішень та взаємодію між компонентами системи. Його використання забезпечує процес роботи RAG-агента, підвищує прозорість функціонування та можливість подальшого розширення архітектури методом додавання нових нод.

Таким чином, реалізація модуля пошуку релевантної інформації на основі технології Retrieval-Augmented Generation дасть змогу забезпечувати інтеграцію механізмів семантичного пошуку з можливостями великих мовних моделей для формування змістовних та контекстно обґрунтованих відповідей на запити користувачів. Використання цього підходу дозволяє значно підвищити якість відповідей, оскільки мовна модель отримує доступ до зовнішніх джерел інформації та формує результати на основі актуальних даних.

Запропонований підхід може бути використаний під час створення систем автоматизованого аналізу документів, інформаційних чат-ботів, корпоративних систем управління знаннями та інших інтелектуальних інформаційних систем.

Список використаних джерел

1. Нич А., Праворська Н. RAG (Retrieval-Augmented Generation) як нова парадигма корпоративної автоматизації. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2026. № 1. С. 375–382. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-53>.
2. Гриценко Ю. Що таке RAG і як його можна використовувати на практиці? URL: <https://blog.ithillel.ua/articles/what-is-rag>.
3. Li H., Su Y., Cai D., Wang Y., Liu L. A Survey on Retrieval-Augmented Text Generation. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2202.01110

УДК 004.89:004.75

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОДУЛЬ РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ ДЛЯ СЕРВІСУ ОНЛАЙН-ОРЕНДИ АВТОМОБІЛІВ

Фурда Аліна Ігорівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
alina.furda1806@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Останніми роками системи онлайн-оренди автомобілів набувають дедалі більшого поширення завдяки розвитку цифрових технологій та зростанню потреби в оперативному доступі до транспортних засобів. За таких умов користувачі зацікавлені в отриманні індивідуалізованих рекомендацій щодо вибору автомобіля, тоді як оператори прагнуть підвищити ефективність управління та планування використання автопарку.

З розвитком технологій штучного інтелекту та методів машинного навчання зростає потреба не лише в автоматизації процесів онлайн-оренди автомобілів, а й у зменшенні невизначеності для всіх учасників сервісу. Зокрема, актуальним є формування персоналізованих рекомендацій щодо вибору транспортного засобу, тарифного плану або пункту отримання автомобіля для користувача, а також прогнозування попиту та оптимізація управління автопарком для оператора сервісу [1].

Водночас попит у таких сервісах має виражену просторово-часову природу: він змінюється за днями тижня, сезонами, погодними умовами та подіями у місті [2].

У зв'язку зі зростанням обсягів даних у сервісах онлайн-оренди автомобілів та потребою в підвищенні ефективності використання ресурсів автопарку актуальним є розроблення інтелектуальних засобів формування персоналізованих рекомендацій і прогнозування попиту на транспортні засоби.

Інтелектуальний модуль рекомендацій та прогнозування попиту для сервісу онлайн-оренди автомобілів містить базові функціональні компоненти, характерні для систем онлайн-оренди автомобілів, зокрема веб-інтерфейс із каталогом транспортних засобів, засобами фільтрації та посторінкового відображення даних, а також підсистему бронювання. Така архітектура формує основу для подальшої інтеграції інтелектуальних механізмів рекомендацій та прогнозування попиту.

Функціонально система являє собою сукупність взаємопов'язаних підмодулів, кожен із яких виконує визначені функції та взаємодіє з іншими компонентами через стандартизовані інтерфейси обміну даними (рисунк 1).

Архітектура включає прикладний та інтелектуальний рівні. Прикладний рівень забезпечує реалізацію основних функцій сервісу онлайн-оренди автомобілів, тоді як інтелектуальний рівень призначений для формування персоналізованих рекомендацій користувачам та прогнозування попиту на транспортні засоби на основі аналізу накопичених даних.

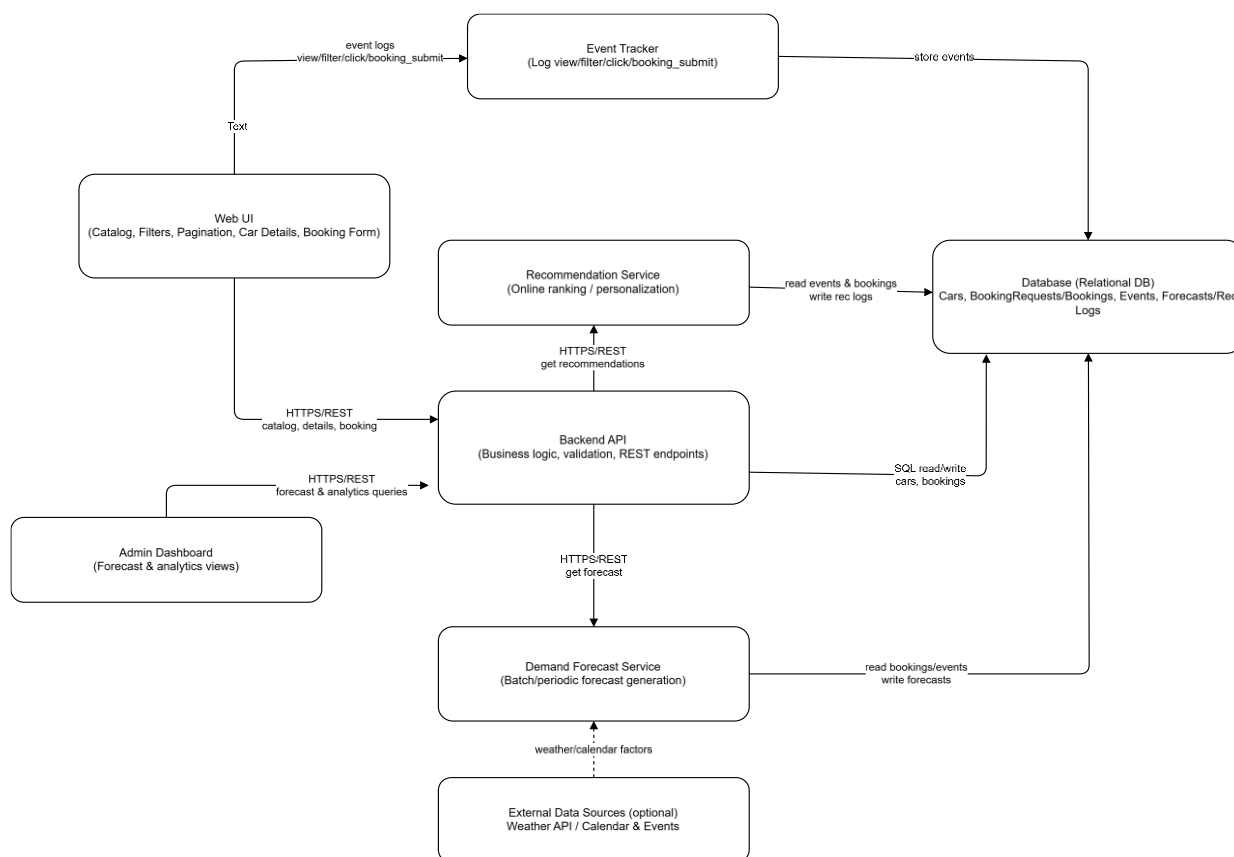


Рисунок 1 – Архітектура інтелектуального модуля рекомендацій та прогнозування попиту для сервісу онлайн-оренди автомобілів

Інтелектуальний рівень функціонує на основі аналізу даних про перегляди транспортних засобів, параметри пошуку та історію бронювань і включає два взаємопов'язані підмодулі:

– Підмодуль рекомендацій реалізує гібридний підхід до формування персоналізованих пропозицій. На першому етапі здійснюється відбір потенційних варіантів відповідно до заданих користувачем критеріїв, зокрема місця отримання автомобіля, періоду оренди та характеристик транспортного засобу. На наступному етапі виконується ранжування відібраних варіантів з урахуванням релевантності, історії взаємодії користувача із системою, популярності транспортних засобів та рівня їхньої актуальності. Для нових користувачів передбачено механізм формування рекомендацій на основі узагальнених моделей поведінки та контекстних характеристик сервісу.

– Підмодуль прогнозування попиту призначений для оцінювання майбутньої кількості бронювань на визначений часовий проміжок із можливістю деталізації прогнозу за днями або годинами. В основі лежать багатофакторні моделі прогнозування, які аналізують часові ряди бронювань та враховують додаткові чинники, зокрема календарні характеристики, вихідні дні та погодні умови.

Програмна реалізація модуля забезпечує автоматизоване накопичення даних про взаємодію користувачів із системою та підтримує періодичне оновлення аналітичних моделей без переривання роботи сервісу. Використання асинхронного обміну даними між клієнтською частиною та серверними компонентами дає змогу оперативно обробляти запити користувачів і забезпечувати стабільне функціонування процесу бронювання.

На рисунку 2 представлено копії екранів інтерфейсу інтелектуального модуля рекомендацій та прогнозування попиту для сервісу онлайн-оренди автомобілів.

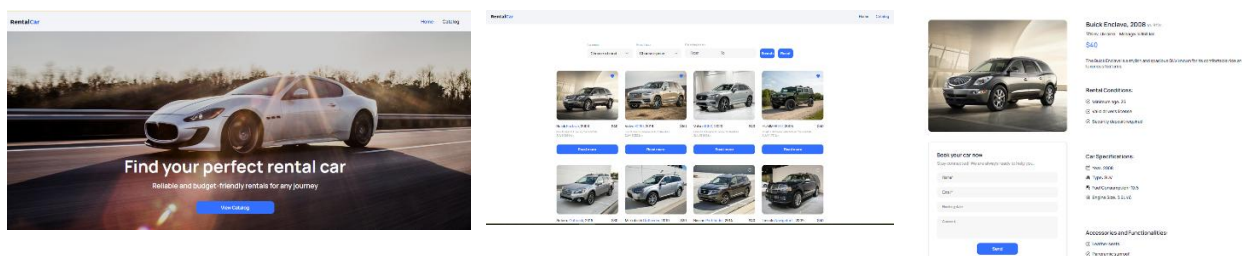


Рисунок 2 – Копії екранів інтерфейсу інтелектуального модуля рекомендацій та прогнозування попиту для сервісу онлайн-оренди автомобілів

Висновки. Розроблений інтелектуальний модуль рекомендацій та прогнозування попиту для сервісу онлайн-оренди автомобілів забезпечує формування персоналізованих рекомендацій для користувачів та підтримку прийняття рішень щодо управління ресурсами автопарку на основі аналізу історії бронювань.

Список використаних джерел

1. Baldo N., Bragatto T., Boschetti G., Ferro S. Forecasting the carsharing service demand using uni and multivariable models. *Journal of Internet Services and Applications*. 2021. Vol. 12, ID 4. DOI: 10.1186/s13174-021-00137-8.
2. Bürgin R., Muratori C., Roca-Riu M., Heitz C. A Space-Time Model for Demand in Free-Carsharing Systems. *Journal of Advanced Transportation*. 2023. Vol. 2023. ID 6610624.

УДК 004.852:004.67:615.1

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДАЖІВ АПТЕЧНОЇ МЕРЕЖІ

Цинайко Василь Петрович, студент
vasyl.tsynaiko@gmail.com

Науковий керівник: Биковий Павло Євгенович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
pb@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5705-5702

Сучасний фармацевтичний ритейл характеризується високим рівнем конкуренції, значними обсягами транзакційних даних та потребою в ефективному управлінні товарними запасами [1]. Недостатня точність прогнозування попиту призводить до дефіциту лікарських засобів або накопичення надлишкових запасів, що спричиняє фінансові втрати та зниження рентабельності аптечної мережі. Особливої актуальності ця проблема набуває у фармацевтичній галузі, де лікарські засоби мають обмежений термін придатності та потребують дотримання спеціальних умов зберігання.

Управління запасами в аптечних мережах базується на принципі FEFO (First Expire, First Out), який передбачає першочергову реалізацію товарів із найменшим залишковим терміном придатності [2]. У таких умовах прогнозування попиту стає ключовим інструментом оптимізації бізнес-процесів та мінімізації втрат від дефектури або списання протермінованої продукції.

Основним джерелом інформації для аналізу є транзакційні дані POS-систем аптек. Для ефективної обробки та побудови прогнозних моделей дані проходять ETL-процес (Extract, Transform, Load), який включає очищення інформації, обробку пропущених значень, виявлення аномалій та формування аналітичної “плоскої бази даних” [3]. Такий підхід дозволяє агрегувати дані за категоріями товарів, будувати часові ряди та проводити багатовимірний аналіз продажів.

Особливістю фармацевтичного ритейлу є висока варіативність попиту на мікрорівні окремих аптек. На продажі суттєво впливають сезонність, маркетингові акції, зміни цін, державні свята та дні соціальних виплат. Крім того, значна кількість товарних позицій (SKU) ускладнює побудову стабільних прогнозних моделей [2]. Тому, для зменшення рівня шуму та підвищення якості прогнозування доцільним є агрегування товарів за АТС-класифікацією у більші фармакологічні категорії. Для цього запропоновано розробити програмний модуль аналізу та прогнозування продажів аптечної мережі.

Перед побудовою такого модуля було проведено аналіз сучасних методів прогнозування попиту, які активно досліджуються у сучасних benchmark-

дослідженнях прогнозування [4]. Базові підходи, зокрема Min-Max та Naive-моделі, характеризуються простотою реалізації, однак мають низьку адаптивність до змін ринку та не враховують майбутню динаміку попиту [5].

Для аналізу часових рядів зазвичай використовують статистичні моделі ARIMA та SARIMA, які дозволяють враховувати автокореляційні та сезонні залежності [6]. Їх перевагою є висока точність прогнозування для стабільних часових рядів, однак застосування таких моделей ускладнюється необхідністю забезпечення стаціонарності даних та складністю інтеграції зовнішніх факторів. Запропоновано для даного модуля використати модель Prophet, що дозволяє враховувати сезонність, календарні події та пропущені дані [7]. Така модель є більш гнучкою для бізнес-застосувань і добре підходить для задач прогнозування у сфері ритейлу.

Окрему увагу приділено методам машинного навчання та глибинного навчання. Використання нейронних мереж типу LSTM (Long Short-Term Memory) дозволяє виявляти складні нелінійні залежності у часових рядах та ефективно працювати з великими обсягами транзакційних даних [8, 9]. Перевагою LSTM є здатність враховувати довгострокові залежності у поведінці попиту, однак використання таких моделей потребує значних обчислювальних ресурсів та складної процедури налаштування.

На основі проведених досліджень запропоновано архітектуру програмного модуля аналізу та прогнозування продажів аптечної мережі. Розроблений програмний модуль реалізовано засобами Python із використанням бібліотек Prophet, Pandas, NumPy, Plotly та Streamlit [10, 11]. Система забезпечує автоматизований аналіз історичних продажів, оцінювання виконання планових показників та формування прогнозів майбутнього попиту.

Інтерфейс розробленого програмного модуля наведено на рисунку 1. Він забезпечує можливість аналізу історичних продажів фармацевтичної продукції та формування прогнозів попиту для різних категорій товарів відповідно до АТС-класифікації. Користувач може задавати необхідний історичний період аналізу, обирати рівень деталізації часових рядів та встановлювати горизонт прогнозування.

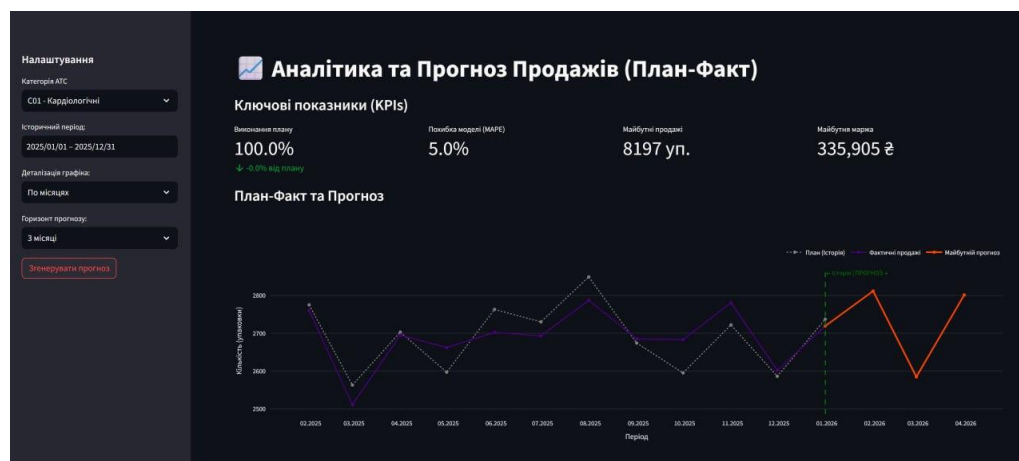


Рисунок 1 – Інтерфейс програмного модуля аналізу та прогнозування продажів аптечної мережі

Програмний модуль автоматично виконує розрахунок ключових показників ефективності (КРІ) аптечної мережі, зокрема показників виконання плану, прогнозованих обсягів продажів та очікуваної маржі. Для оцінювання якості прогнозування використовується метрика MAPE, яка дозволяє визначати точність роботи моделі. Результати аналізу візуалізуються у вигляді інтерактивних графіків типу «план–факт–прогноз», що дає змогу оперативно оцінювати динаміку продажів та прогнозовані тенденції попиту. Для побудови прогнозу використовується модель Prophet із додатковими регресорами, які враховують святкові дні та періоди соціальних виплат.

На відміну від класичних ERP-рішень типу Min-Max, розроблений модуль використовує rolling forecast та методи предиктивної аналітики для формування прогнозів продажів у реальному часі. Це дозволяє підвищити точність планування закупівель та ефективніше управляти товарними запасами аптечної мережі.

Для підвищення точності прогнозування доцільним є використання ансамблевого підходу, який поєднує статистичні методи, адитивні моделі та нейронні мережі залежно від типу часових рядів. Оцінювання ефективності моделей планується здійснювати за допомогою метрик MSE та MAPE, а також через аналіз бізнес-показників, зокрема рівня втраченої маржі та дефектури.

Практична реалізація програмного модуля підтвердила можливість інтеграції методів машинного навчання у бізнес-процеси аптечної мережі та продемонструвала доцільність використання предиктивної аналітики для підтримки управлінських рішень. Запропонований модуль дозволяє підвищити ефективність управління запасами аптечної мережі, зменшити фінансові втрати від надлишкових запасів і дефіциту продукції, а також забезпечити більш обґрунтоване прийняття управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. Kelle, P., Woosley, J., Schneider, H.. Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital pharmacy. *Operations Research for Health Care*. 2012. 1(2–3). P. 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.002>
2. Hyndman, R. J., Athanasopoulos, G. *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts.2021. <https://otexts.com/fpp3/>
3. McKinney, W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter* (3rd ed.). O'Reilly Media, 2022
4. Makridakis, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, V. The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods. *International Journal of Forecasting* 2020. Vol. 36(1). P. 54–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.014>
5. Silver, E. A., Pyke, D. F., Thomas, D. J. *Inventory and Production Management in Supply Chains* (4th ed.). CRC Press, 2016.
6. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., Ljung, G. M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (5th ed.). John Wiley & Sons Inc., 2015.
7. Taylor, S. J., & Letham, B. Forecasting at scale. *The American Statistician*. 2018. Vol. 72(1). P. 37–45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
8. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. <https://www.deeplearningbook.org/>

9. Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 1997. Vol. 9(8). P. 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
10. Streamlit Inc. (2025). Streamlit Documentation. <https://docs.streamlit.io/>
11. Plotly Technologies Inc. (2025). Plotly Python Graphing Library. <https://plotly.com/python/>

УДК 004.8 : 004.94 : 004.85

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ХОДЬБИ ПЕРСОНАЖА В СЕРЕДОВИЩІ UNITY

Яремчук Владислав Миколайович, студент,
yuramchuk2016@gmail.com

Науковий керівник: Лендюк Тарас Васильович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем,
Західноукраїнський національний університет
tl@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0001-9484-8333

Сучасні дослідження штучного інтелекту активно використовують симуляційні середовища для навчання автономних агентів руху. У середовищі Unity це реалізується через фізичну симуляцію об'єктів, включно з гравітацією, тертям і зіткненнями, що дозволяє відтворювати реалістичну поведінку агентів [2, 3].

Ходячі роботи можуть застосовуватись у логістиці, агросекторі та сервісних задачах: переміщення вантажів, інспекція територій, навігація в складних приміщеннях. Їхня перевага — здатність працювати на нерівних поверхнях і в обмежених просторах, де колісні системи малоефективні.

Підхід Unity ML-Agents дає змогу навчати агентів самостійно формувати стратегії ходьби через взаємодію з середовищем і системою винагород [1]. Для інференсу нейронних моделей у Unity використовується бібліотека Barracuda, що забезпечує виконання нейромереж без зовнішніх сервісів [4].

Використання навчання з підкріпленням дозволяє агентам адаптуватися до змін середовища, оптимізуючи баланс, швидкість і стабільність руху. У результаті формуються моделі автономної ходьби, які не потребують ручного програмування правил руху.

Метою розробленої платформи є навчання агента автономній ходьбі у фізично-реалістичному середовищі Unity із використанням методів навчання з підкріпленням. Система побудована як інтеграція фізичної симуляції, моделі агента та алгоритмів машинного навчання.

Фізичне середовище реалізоване у Unity та базується на використанні стандартного фізичного рушія, який моделює гравітацію, тертя та взаємодію тіл через компоненти RigidBody і Collider [2, 3]. Сцена включає опорну поверхню, фізичні матеріали та, за необхідності, перешкоди, що дозволяє створювати умови для навчання стабільної та адаптивної ходьби.

Агент представлений як багатосегментна структура, де кожна частина тіла має власний RigidBody, а з'єднання між ними реалізовані через Joint-компоненти, структуру агента відображено на рисунку 1. Така модель дозволяє відтворювати

рухи, підтримувати баланс і реагувати на фізичні сили відповідно до законів механіки [2, 3].

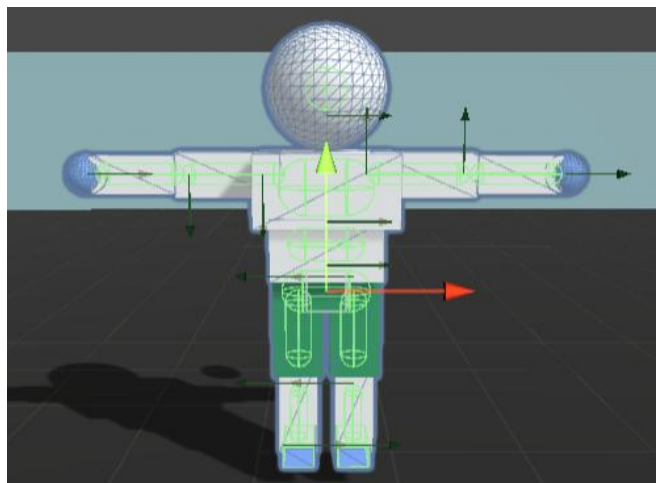


Рисунок 1 – Вигляд тіла агента у середовищі Unity

Збір даних про стан агента здійснюється через модуль спостереження, який формує вектор параметрів, що включає положення, швидкість, орієнтацію та контакт із поверхнею. Ці дані передаються до моделі прийняття рішень.

Модуль прийняття рішень реалізований на основі нейронної мережі, яка формує керуючі сигнали для руху агента. Для інтеграції алгоритмів навчання використовується Unity ML-Agents Toolkit, що забезпечує взаємодію між середовищем та моделлю штучного інтелекту [1]. Виконання навчених моделей у середовищі Unity здійснюється за допомогою бібліотеки Barracuda [5].

Навчання агента відбувається із застосуванням алгоритму Proximal Policy Optimization (PPO), який дозволяє поступово покращувати політику дій на основі отриманої винагороди [1]. Винагорода формується з урахуванням кількох факторів: збереження балансу, руху вперед, енергоефективності та штрафів за падіння. Це дозволяє агенту самостійно формувати ефективні та стабільні патерни ходьби без явного програмування рухів.

Таким чином, запропонована система поєднує фізичну симуляцію, нейромережеві моделі та алгоритми навчання з підкріпленням, що забезпечує формування автономної поведінки агента у складному динамічному середовищі [1, 5].

Для формалізації задачі використано декілька основних математичних підходів. Обчислення винагороди агента на кожному кроці наведено у наступній формулі:

$$R(s_t, a_t) = w_b \cdot B(s_t) + w_s \cdot S(s_t, a_t) - w_e \cdot E(a_t) , \quad (1)$$

де $R(s_t, a_t)$ — винагорода агента у стані s_t при дії a_t ;

$B(s_t)$ — показник підтримки балансу;

$S(s_t, a_t)$ — ефективність кроку (швидкість та прогрес вперед);

$E(a_t)$ — витрати енергії на виконання дії;

w_b, w_s, w_e — вагові коефіцієнти для балансування компонентів винагороди.

Кумулятивна винагорода визначається як сума дисконтованих винагород [5]:

$$G_t = \sum_{k=0}^T \gamma^k R_{t+k} \quad (2)$$

де R_{t+k} — винагорода на кожному кроці епізоду;

γ — коефіцієнт дисконтування ($0 \leq \gamma < 1$);

G_t — накопичена (дисконтована) винагорода за епізод.

Функція оптимізації політики агента, відповідно до рівняння Беллмана оптимальності [5], визначає процес оновлення параметрів моделі під час навчання:

$$\pi^* = \arg \max_{\pi} \mathbb{E} \left[\sum_{t=0}^T \gamma^t R(s_t, a_t) \right] \quad (3)$$

де π^* — оптимальна політика поведінки агента;

γ — коефіцієнт дисконтування, а сумування ведеться по всіх кроках епізоду T .

Наступна формула описує процес переходу системи у новий стан під впливом дій агента у фізичному середовищі, де стан системи включає параметри, що описують положення, швидкість, орієнтацію агента та його взаємодію із середовищем:

$$s_{t+1} = f_{\text{phys}}(s_t, a_t) \quad (4)$$

де f_{phys} — фізична модель середовища: динаміка суглобів, сила тяжіння, контакт з поверхнею (гарантує, що дії агента призводять до реалістичного пересування та збереження балансу).

У рамках дослідження алгоритм навчання агента використовує ці функції для поступового покращення політики руху. Нейронна мережа прогнозує оптимальні дії на основі поточного стану агента та навколишнього середовища, а система винагороди забезпечує коригування поведінки для стабільної і ефективної ходьби.

Результати навчання агентів у середовищі Unity ML-Agents були проаналізовані за допомогою інструментів TensorBoard, що дозволяє відстежувати динаміку ключових метрик процесу навчання, зокрема сумарну винагороду, тривалість епізодів та функції втрат. Тестування проводилось для двох незалежних тренувань: firstTrainer рожевого кольору та trainerWalker32 синього кольору. Розглянемо результати тестування.

Показник сумарної винагороди, його графіки відображено на рисунку 2, демонструє суттєву різницю між моделями. Агент firstTrainer після приблизно 5 мільйонів кроків починає стрімко покращувати результат і досягає значень близько 1000, що свідчить про успішне засвоєння політики стабільної ходьби та ефективного пересування. Водночас trainerWalker32 демонструє низькі значення

винагороди, менше 100, що вказує на недостатнє навчання та відсутність сформованої стратегії руху [1].

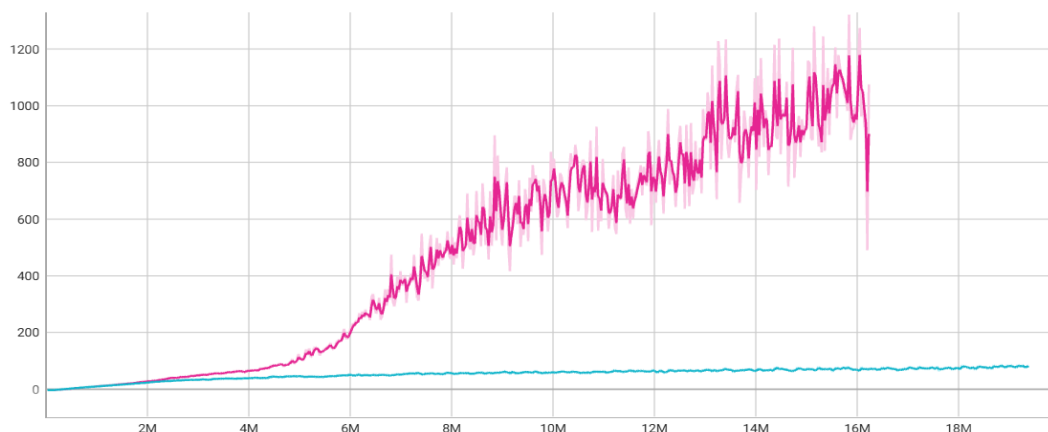


Рисунок 2 – Графік динаміки накопичувальної винагороди агента

Аналіз графіків довжини епізоду, що відображені на рисунку 3, підтверджує ці результати. У випадку firstTrainer тривалість епізодів поступово зростає до 500 кроків, що означає здатність агента підтримувати баланс і здійснювати довготривалий рух без падіння. Для trainerWalker32 характерні короткі епізоди, що свідчить про часті втрати рівноваги та нестабільну поведінку [1].

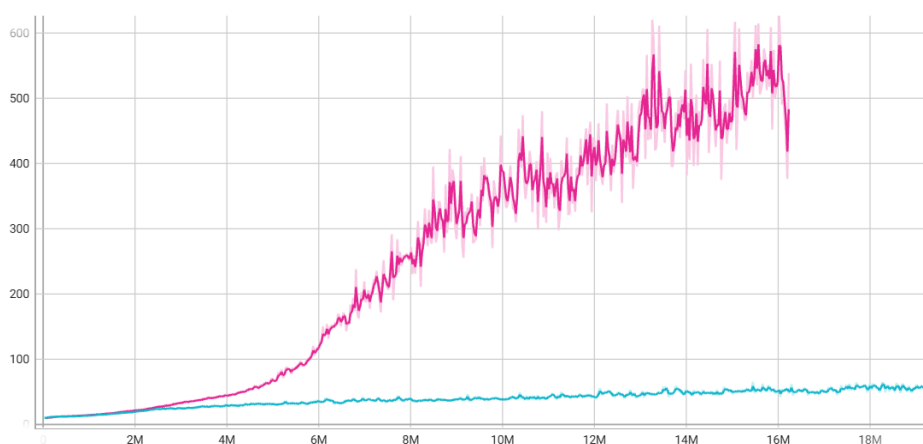


Рисунок 3 – Графік довжини епізоду

Метрика динаміки накопичувальної винагороди агента, графік, якої відображений на рисунку 4, показує якість прогнозування майбутньої винагороди. Для firstTrainer спостерігається початковий ріст помилки з подальшим зниженням, що відповідає етапу активного навчання та подальшого уточнення оцінки станів середовища. Це свідчить про покращення здатності моделі прогнозувати довгострокову винагороду в процесі навчання [1].

Різниця двох моделей у їх способах ходьби. Модель firstTrainer знайшла оптимальніший, але специфічний спосіб ходьби. Агент рухався способом ковзання на одній нозі. Тобто одна нога завжди була на підлозі і тримала баланс агента, а інша нога штовхала все тіло до цілі.

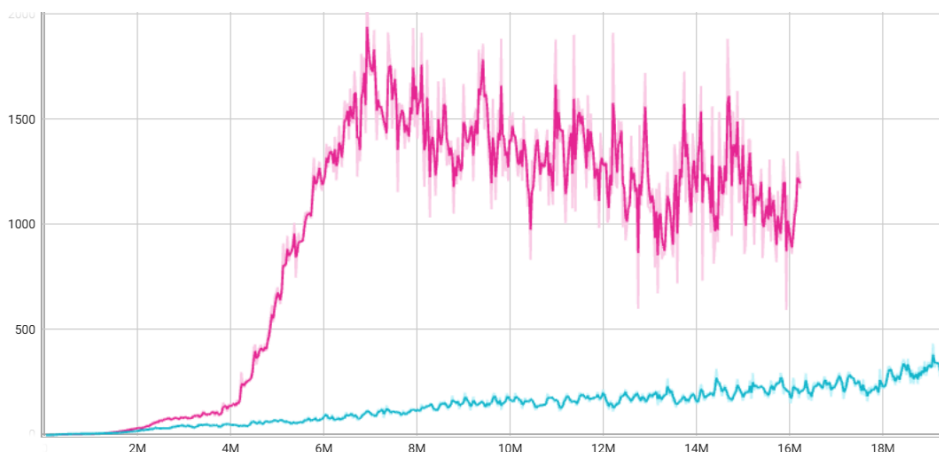


Рисунок 4 – Графік динаміки накопичувальної винагороди агента

Такий спосіб руху був можливий через неправильну конфігурацію середовища, а саме недостатньо великий коефіцієнт тертя підлоги. Через що агент мав змогу водночас і ковзати на одній нозі по підлозі і штовхати тіло до цілі іншою ногою. Дана проблема була вирішена для навчання наступної моделі `trainerWalker32`. Тому у неї не такі великі показники винагород, як у `firstTrainer`, але ходьба виглядає більш правильною.

У цілому результати демонструють, що модель `firstTrainer` досягла збіжності та сформувала стабільну, проте некоректну, політику ходьби. Тоді як `trainerWalker32` залишилась на етапі часткового навчання. Причинами різниці є випадкова ініціалізація ваг нейронної мережі та різні сценарії навчання.

Отримані результати узгоджуються з підходами навчання агентів у `Unity ML-Agents`, де ефективність політики напряму залежить від налаштування середовища, функції винагороди та архітектури нейронної мережі [1], [5].

Список використаних джерел

1. Unity Technologies. Unity ML-Agents Toolkit Documentation. Unity Technologies, 2024. <https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents>
2. Unity Technologies. Unity Physics and Rigidbody Components Documentation. Unity Manual, 2024. <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Rigidbody.html>
3. Unity Technologies. Unity Collider Components Documentation. Unity Manual, 2024. <https://docs.unity3d.com/Manual/CollidersOverview.html>
4. Unity Technologies. Barracuda Neural Network Inference Library Documentation. Unity Manual, 2024. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.barracuda>
5. Reinforcement Learning: An Introduction / Richard S. Sutton, Andrew G. Barto. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2018. 552 p.

СЕКЦІЯ
ПРИКЛАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ / APPLIED
TECHNOLOGIES AND INFORMATION AND
COMMUNICATION SYSTEMS

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПРОВЕДЕННЯ ЦИФРОВОГО ДОЗВІЛЛЯ

Боднарівський Ігор Віталійович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
igor.bodnarovsky@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

У сучасних умовах стрімкого зростання обсягів медіаконтенту користувачі часто зіштовхуються з проблемою інформаційного перевантаження та складнощами у швидкому підборі фільмів, книг і музики, що відповідають їхньому поточному емоційному стану. Щодня на стрімінгових платформах з'являються тисячі нових творів, через що процес вибору контенту стає тривалим і виснажливим. Традиційні рекомендаційні системи (такі як алгоритми Netflix, Spotify чи YouTube) орієнтовані переважно на аналіз історії переглядів, уподобань та колаборативної фільтрації, проте вони недостатньо враховують миттєвий емоційний стан користувача. У результаті рекомендації часто не відповідають актуальному настрою людини, наприклад, система пропонує драматичний трилер, коли користувач хоче легку комедію для відпочинку, або навпаки. Такий розрив між поточним емоційним станом і отриманими рекомендаціями знижує задоволеність користувачів і ефективність споживання медіаконтенту.

Автори [1] розглядають сучасні підходи до побудови рекомендаційних систем. Дослідники зазначають, що врахування емоційного стану користувача є перспективним напрямком розвитку таких систем.

У [2] досліджуються теоретичні та практичні аспекти mood-based рекомендацій у сфері медіаконтенту. Автори аналізують різні методи зіставлення настрою користувача з жанрами та характеристиками контенту.

Також значний внесок у дослідження рекомендаційних систем зроблено у [3]. У роботі розглядаються веб-орієнтовані платформи, їх інтерфейси та можливості персоналізації. Автори підкреслюють важливість зручного та інтуїтивного дизайну для підвищення залученості користувачів.

На основі проведеного аналізу джерел можна зробити висновок, що сучасні веб-платформи рекомендацій медіаконтенту повинні забезпечувати швидкий і зручний підбір фільмів, книг та музики відповідно до емоційного стану користувача.

Структура веб-орієнтованої системи проведення цифрового дозвілля представлена на рисунку 1.

Основними модулями системи є: головна сторінка, розділи «Фільми», «Книги», «Музика», сторінки окремих настроїв, а також встановлено зв'язки між ними. Користувач може переходити між категоріями та вибирати потрібний настрій, після чого отримує підбірку відповідного контенту.

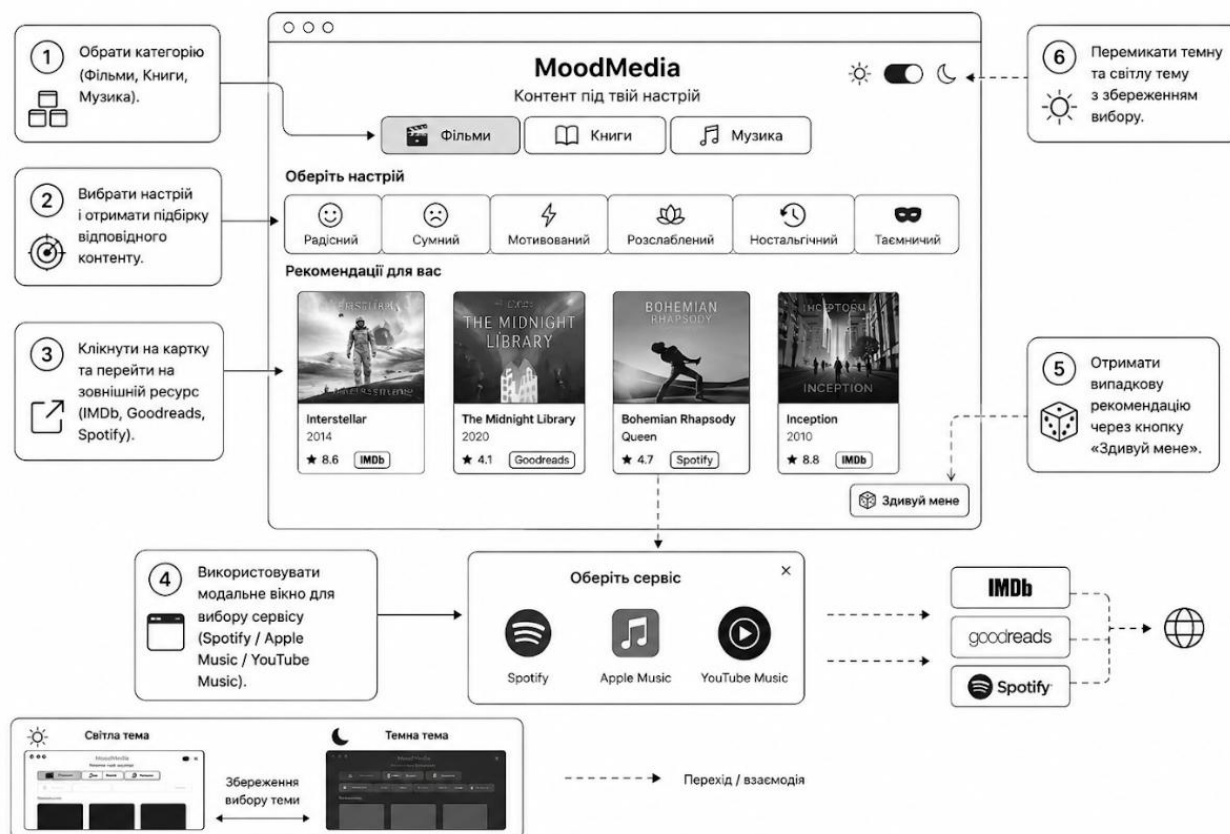


Рисунок 1 – Структура веб-орієнтованої інформаційної системи «ПідНастрої»

Під час розробки системи основна увага приділялася швидкості роботи, зручності використання та можливості подальшого розширення функціоналу. Важливим етапом стало створення сучасного, інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу з єдиним стилем для всіх розділів. Складний або перевантажений інтерфейс міг би ускладнити взаємодію користувача з платформою.

Платформа підтримує перемикання між темною та світлою темою, адаптивний дизайн та функцію «Здивуй мене» для випадкової рекомендації. Кожна картка контенту є інтерактивною та веде на зовнішні ресурси (IMDb, Goodreads, Spotify). Для зручності користувача при прослуховуванні музики реалізовано модальне вікно з вибором сервісу (Spotify, Apple Music, YouTube Music).

Розроблена веб-орієнтована система є сучасним засобом рекомендацій медіаконтенту за настроєм користувача. Вона дозволяє швидко та зручно

підібрати фільм, книгу чи музику відповідно до поточного емоційного стану, оптимізує час користувача та підвищує задоволеність від споживання контенту.

Головна сторінка веб-орієнтованої системи представлена на рисунку 2.



Рисунок 2 – Головна сторінка веб-орієнтованої системи «ПідНастрій»

Завдяки модульній структурі систему можна легко розширювати у майбутньому: додавати нові настрої, інтегрувати реєстрацію користувачів, систему персональних списків, рекомендації на основі історії та навіть елементи машинного навчання. Це дозволить платформі швидко адаптуватися до потреб користувачів та розвиватися відповідно до змін на ринку медіаконтенту.

Список використаних джерел

1. Aggarwal C. C. Recommender Systems: The Textbook. Cham : Springer, 2016. 498 p.
2. Ricci F., Rokach L., Shapira B. Recommender Systems Handbook. 3rd ed. Cham : Springer, 2022. 1084 p.
3. Katarya R., Verma O. Recent developments in affective recommender systems. *Multimedia Tools and Applications*. 2016. P. 182-190.
4. Коваленко О. В. Розробка рекомендаційних систем на основі емоційного аналізу тексту. *Інформаційні технології та системи*. 2024. № 2. С. 45-52.

УДК 004.8, 681.3

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОПОВІЩЕННЯМИ В ОСВІТНЬОМУ ЗАКЛАДІ

Воїнський Юрій Володимирович, студент
voinskiju@gmail.com

Коваль Василь Сергійович,
к.т.н, доц., доц. кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
vko@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4726-097X

У роботі розглядаються результати досліджень, що присвячені розробці концепції та архітектури інтелектуальної системи, що автоматизує процеси безпеки та інформування в освітньому середовищі. Розгляд даної теми зумовлений потребою в адаптивних інструментах реагування на критичні виклики: повітряні тривоги, загрози техногенного характеру та перебої в енергопостачанні. Запропоновані рішення в проектуванні архітектури інформаційних систем передбачає використання мікроконтролерної платформи Arduino, для забезпечення збору даних від фізичних сенсорів а також серверної частини, що інтегрує великі мовні моделі (LLM) для обробки природної мови [1]. Таке поєднання дозволяє створити систему, що здатна автономно інтерпретувати запити користувачів, аналізувати зовнішні API та координувати роботу виконавчих пристроїв у режимі реального часу.

Сучасний ринок систем безпеки пропонує широку номенклатуру існуючих технічних комерційних продуктів, які, залишаються функціонально різними та мають суттєві обмеження для застосування в освітній сфері [5]. Промислові системи сигналізації відзначаються надійністю, але є закритими екосистемами, що унеможлиблює їх гнучку інтеграцію з веб-сервісами чи академічними розкладами [6]. Побутові рішення класу «Smart Home» обмежені радіусом дії та жорсткими детермінованими правилами, які не дозволяють адаптуватися до складної людської мови [7]. Спеціалізоване програмне забезпечення для шкільних дзвінків зазвичай ізольоване від факторів зовнішньої небезпеки, а інформаційні Telegram-боти позбавлені фізичного втілення в інфраструктуру будівлі. Таким чином, спостерігається критичний розрив між апаратним моніторингом, цифровими даними та методами інтелектуальної взаємодії з користувачем.

Метою роботи є проектування інформаційної системи та єдиного програмно-апаратного комплексу, який виступає центральним хабом для збору, аналізу інформації про загрози та реагування на безпекові й адміністративні тригери в освітньому закладі. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити

завдання розроблення апаратної частини на базі Arduino для роботи з сигналами оповіщення, опрацювання сенсорних показів аналізаторів газу та затоплення, проектування серверної частини для моніторингу зовнішніх API (статус повітряних тривог, графіки енергопостачання) та інтеграції модуля штучного інтелекту для обробки неструктурованих текстових і голосових команд. Кінцевий результат має забезпечити мінімізацію впливу людського фактору та високу точність реагування в умовах обмеженого енергопостачання. Для опрацювання інформації пропонується архітектура інтелектуальної інформаційної системи оповіщення, узагальнена схема якої наведена на рисунку 1.

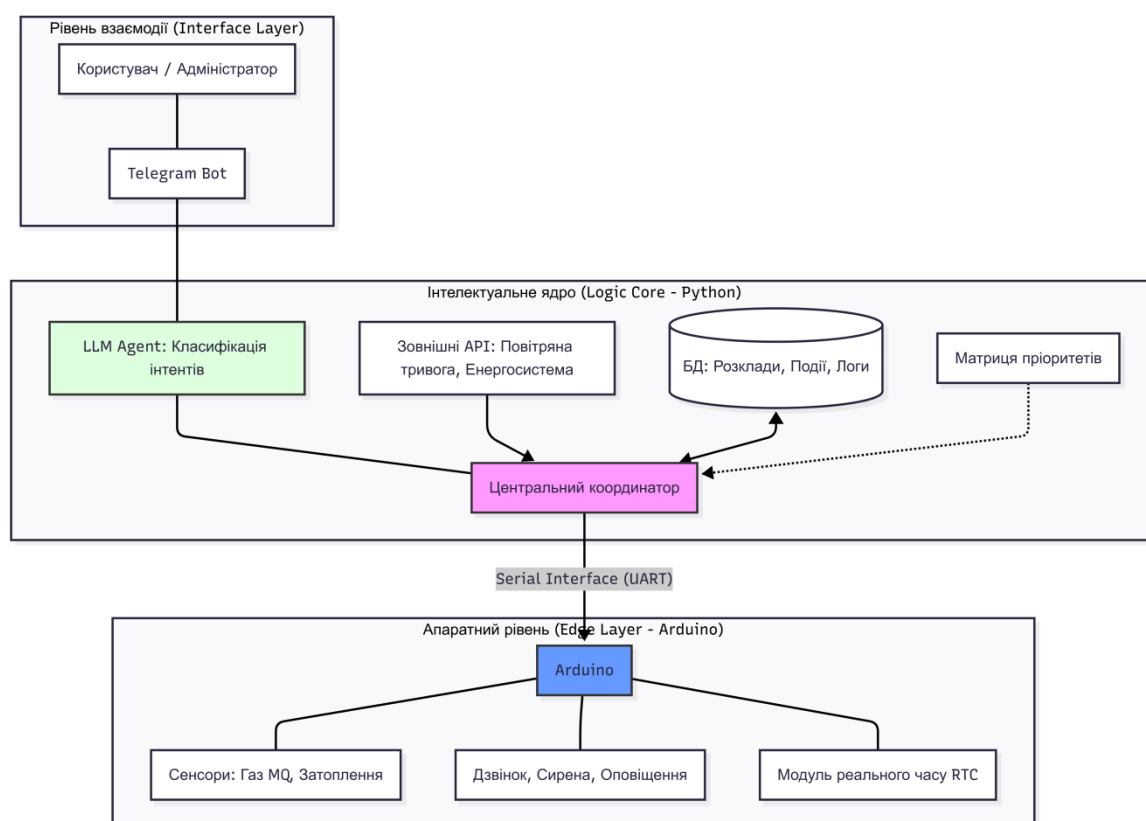


Рисунок 1 – Архітектура запропонованої інтелектуальної системи керування оповіщеннями

Для програмно-технічної реалізації запропонованої системи використовується алгоритм обробки даних, що базується на принципі розподілених обчислень та ієрархічній пріоритезації подій. Апаратний шар на базі Arduino здійснює безперервне опитування напівпровідникових сенсорів серії MQ (монооксид вуглецю) та датчиків затоплення[2]. Програмний сервер на Python [3] виступає інтелектуальним координатором, що обробляє дані з чотирьох каналів: фізичного, мережевого (API тривоги), часового (база даних SQLite/PostgreSQL) та семантичного.

Особливістю підходу є використання LLM як активного агента для класифікації інтентів у Telegram-боті. Замість жорстких команд система

використовує Prompt Engineering для інтерпретації природної мови користувача[4]. Наприклад, фрази про задимлення автоматично класифікуються як критичний інтеннт FIRE_EMERGENCY, що ініціює негайну активацію сигналізації через послідовний інтерфейс (Serial) на Arduino. Матриця пріоритетів гарантує, що безпекові загрози завжди мають перевагу над рутинним розкладом.

Проведені дослідження ефективності запропонованих алгоритмів та логіки взаємодії компонентів системи проведені із використанням показників аналізу часових характеристик обробки сигналів: середній час реакції системи на критичний тригер від сенсорів становить не більше 450 мс, а затримка при паралельному виконанні асинхронних запитів до зовнішніх API складає близько 0,7 с. Це підтверджує можливість багатопоточного зчитування даних: архітектура дозволяє фіксувати тригери від сенсорів газу в реальному часі, паралельно виконуючи мережеві запити до зовнішніх API.

Апробація семантичного модуля на базі LLM показала високу адаптивність до обробки повідомлень із варіативним синтаксисом та неформальною лексикою, що дозволяє коректно трансформувати запит користувача у структурований JSON-об'єкт для подальшого виконання апаратним рівнем. Важливим аспектом теоретичного моделювання стала перевірка логіки блокування побутових сигналів: алгоритм передбачає автоматичне ігнорування адміністративного розкладу під час активної фази повітряної небезпеки, пріоритезуючи трансляцію інструкцій цивільного захисту. Також було обґрунтовано стійкість системи до перебоїв мережевого зв'язку завдяки використанню локального кешування критичних даних та інтеграції автономного модуля годинника реального часу (RTC).

Висновки

Запропонована концепція інтелектуальної системи керування оповіщеннями демонструє потенційну ефективність використання запропонованої архітектури для вирішення безпекових задач в освітніх закладах. Теоретичний аналіз поєднання апаратного моніторингу та семантичного аналізу текстів дозволяє стверджувати, що така інтеграція здатна трансформувати підхід до безпеки з пасивного спостереження у проактивне управління. Проведені експериментальні дослідження роботи запропонованої інтелектуальної інформаційної системи керування оповіщеннями підтверджує можливість високої швидкості реакції на загрози та точності класифікації запитів у середовищі з неструктурованими даними. Подальші етапи роботи будуть спрямовані на практичну реалізацію апаратних модулів, впровадження методів предиктивної аналітики стану обладнання та алгоритмізацію інтелектуального планування евакуаційних заходів.

Список використаних джерел

1. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J. Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. P. 5998–6008.
2. Monk S. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2016. 192 p.

3. Fowler J. L. Python Concurrency with asyncio. New York: Manning Publications, 2022. 350 p.
4. Brown T., Mann B., Ryder N. et al. Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33. P. 1877–1901.
5. Garcia M. L. The Design and Evaluation of Physical Protection Systems. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2007. 336 p.
6. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M. et al. Internet of Things: A Survey on Enablers, Constituent Technologies, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Vol. 17, No. 4. P. 2347–2376.
7. Stojkoska B. L. R., Trivodaliev K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. P. 1454–1464.

УДК 004.5: 004.77

КРОСПЛАТФОРМЕНИЙ МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ВИКОНАННЯ СПОРТИВНИХ ВПРАВ ТА САМОКОНТРОЛЮ

Ворожбит Руслан Олександрович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
vorozhbytr21@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Сучасний розвиток цифрових технологій суттєво впливає на сферу фізичної активності та здорового способу життя. Зокрема, все більшої популярності набувають мобільні застосунки для організації тренувального процесу, які дають змогу користувачам виконувати спортивні вправи самостійно без необхідності відвідування тренажерних залів або залучення персонального тренера. Особливої актуальності такі сервіси набули після пандемії COVID-19, коли значна частина користувачів почала активно використовувати цифрові платформи для занять спортом у домашніх умовах [1].

Основною перевагою сучасних мобільних застосунків для фітнесу є можливість швидкого доступу до структурованих тренувальних програм, відстеження власного прогресу, отримання інструкцій щодо техніки виконання вправ та фіксації результатів у режимі реального часу. Такі системи сприяють підвищенню мотивації користувачів та забезпечують доступність спортивних послуг для людей з обмеженим часом або фінансовими ресурсами для відвідування спортивних закладів [2].

Попри активний розвиток цифрових сервісів у сфері фітнесу, існуючі рішення мають низку недоліків. Частина мобільних застосунків характеризується перевантаженим інтерфейсом, складною навігацією або надмірною комерціалізацією – значний обсяг функціоналу доступний лише за платною підпискою. Крім цього, окремі сервіси не забезпечують належного рівня гнучкості у формуванні тренувальних програм відповідно до наявного обладнання користувача або його рівня фізичної підготовки [3].

Аналіз сучасних мобільних фітнес-застосунків, серед яких розглядалися Nike Training Club, Fitbod та Strong [4, 5], вказують на те, що більшість сучасних сервісів мають подібний набір базових функцій: каталог вправ, тренувальні програми, таймер та лічильник повторень, збереження результатів (таблиця 1). Водночас значна частина платформ недостатньо орієнтована на кросплатформену доступність та відкрите управління контентом.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики застосунків

Функціональна можливість	Nike Training Club	Fitbod	Strong
Каталог вправ	+	+	+
Тренувальні програми	+	+	частково
Таймер і лічильник повторення	+	+	+
Збереження результатів	+	+	+
Статистика активності	+	+	+
Персоналізація програм	частково	+	+
Нагадування про тренування	+	+	+
Відеоінструкції до вправ	+	немає	немає
Безкоштовний доступ	частково	частково	частково
Кросплатформена реалізація	+	+	+

Розробка прототипу кросплатформеного мобільного застосунку для виконання спортивних вправ та самоконтролю, який забезпечує користувачам можливість перегляду каталогу вправ, виконання структурованих тренувальних програм, відстеження власного прогресу та збереження результатів через зручний і зрозумілий інтерфейс, є актуальною задачею сучасних інформаційних технологій у сфері цифрового здоров'я та фітнесу.

У процесі дослідження було визначено основні вимоги до проєктованого застосунку. Одним із ключових аспектів є створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, який дозволить користувачу швидко виконувати основні дії: обрати тренувальну програму, виконати вправу з таймером або лічильником повторень та переглянути власну статистику. Особлива увага надається мінімізації кількості кроків під час взаємодії із системою та адаптації інтерфейсу до платформ Android та iOS.

Запропонований застосунок орієнтований на реалізацію сучасного технологічного стеку для кросплатформеної мобільної розробки. Клієнтська частина реалізована на React Native з використанням TypeScript та Redux Toolkit для управління станом. Серверна частина побудована на основі NestJS з MongoDB як системою управління базами даних. Така архітектура забезпечує масштабованість системи та незалежне розгортання клієнтської і серверної складових.

Функціональна структура сервісу передбачає наявність основних модулів: каталогу вправ з фільтрацією за групою м'язів та рівнем складності, колекцій тренувальних програм, екрану виконання тренування з таймером зворотного

відліку та лічильником повторень, статистики активності користувача та персонального кабінету.

Діаграма варіантів використання, що визначає функціональні можливості системи з точки зору кінцевого користувача, представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання

Тестування розробленого прототипу проводилося на пристроях Android (Samsung Galaxy A54, Android 14) та симуляторі iOS (iPhone 15, iOS 17). За результатами системного тестування підтверджено коректну роботу всіх основних сценаріїв використання: авторизації, перегляду каталогу, виконання тренувальної програми та збереження результатів. Середній час завантаження списку вправ становив 320 мс, час запуску застосунку – близько 2,1 секунди на Android та 1,8 секунди на iOS.

Висновки: результати проведеного дослідження підтверджують актуальність розробки спеціалізованих мобільних застосунків для самостійної організації тренувального процесу та демонструють важливість якісного технічного проектування для забезпечення стабільної та зручної взаємодії користувача із системою. Розроблений прототип є основою для подальшої реалізації повноцінного комерційного продукту у сфері цифрових фітнес-послуг.

Список використаних джерел

1. World Health Organization. Physical activity. 2022. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
2. Appinventiv. Fitness App Development: A Complete Guide. 2024. URL: <https://appinventiv.com/blog/fitness-app-development/>
3. Masiello E., Friedman J. Mastering React Native. Packt Publishing, 2017. 420 p.
4. Nike Training Club. URL: <https://www.nike.com/ntc-app>
5. Fitbod: Weight Lifting & Fitness. URL: <https://fitbod.me>

УДК 004.9 : 004.77

АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІОТ-СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБОЧОГО ЧАСУ З БАГАТОФАКТОРНОЮ АВТЕНТИФІКАЦІЄЮ

Гнатів Святослав Васильович, студент,
s.hnativ@st.wunu.edu.ua

Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет,
nvs@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Концепція Internet of Things передбачає інтеграцію фізичних пристроїв у єдину інформаційну мережу для збору, передавання та інтелектуального опрацювання даних у режимі реального часу [1-3]. Використання багатофакторної автентифікації та методів штучного інтелекту дозволяє підвищити достовірність контролю доступу та автоматизувати процес аналізу трудової активності працівників. Пропонована ІоТ-система обліку робочого часу базується на трирівневій архітектурі, що включає апаратний, програмний та аналітичний рівні [4].

На апаратному рівні реалізується паралельне виконання задач під керуванням операційної системи реального часу FreeRTOS [1]. У системі використовується SMP-планувальник із закріпленням задач за окремими ядрами процесора за допомогою функції xTaskCreatePinnedToCore() [2]. Такий підхід забезпечує детермінованість виконання та зменшує затримки під час обробки подій автентифікації [1].

Основні задачі апаратного рівня та їх пріоритети наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Задачі апаратного рівня

Назва задачі	Опис функціональності	Пріоритет
Зчитування RFID	Опитування RFID-зчитувача та отримання UID картки	10
Керування камерою	Захоплення та перевірка зображення користувача	10
Передавання даних	Передавання даних на серверний рівень	6
Формування події	Формування комплексної події доступ	8
Локальне збереження	Локальне збереження сформованих подій	5

Задачі RFID-зчитування та керування камерою виконуються на CPU0, що дозволяє мінімізувати часовий інтервал між зчитуванням картки та захопленням зображення користувача. На CPU1 виконуються задачі формування події доступу, передавання даних на серверний рівень та локального кешування інформації у випадку втрати мережевого з'єднання.

Після ініціалізації периферійних модулів система переходить у режим паралельного виконання задач. Зчитування RFID-картки супроводжується первинною перевіркою коректності UID користувача. У разі успішної валідації активується модуль камери, який виконує захоплення та базову перевірку якості зображення. Після завершення збору факторів автентифікації формується комплексна подія доступу, що містить UID картки, часові мітки, службову інформацію пристрою та фото користувача.

Узагальнений алгоритм функціонування апаратного рівня наведено на рисунку 1.



Рисунок 1 — Узагальнений алгоритм функціонування апаратного рівня системи

У разі доступності мережевого з'єднання подія асинхронно передається на серверний рівень. За відсутності зв'язку інформація зберігається локально для подальшої синхронізації після відновлення підключення.

Алгоритм функціонування програмного рівня IoT-системи обліку робочого часу наведено на рисунку 2.

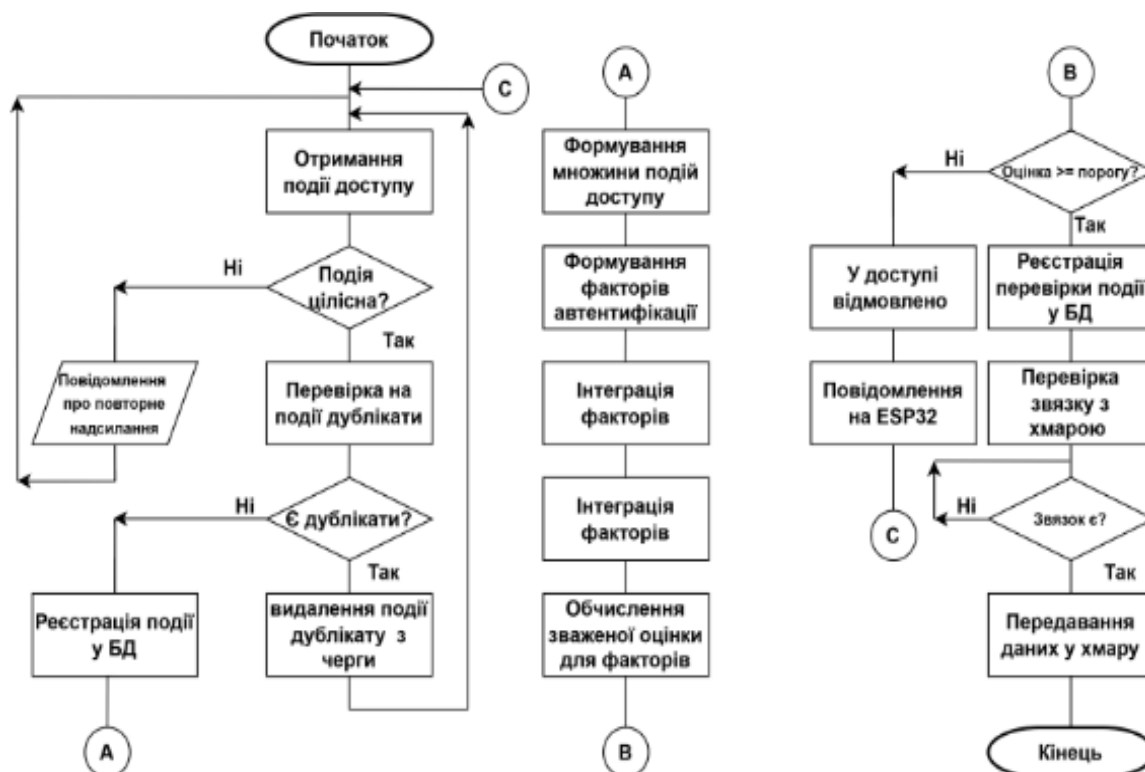


Рисунок 2 – Алгоритм функціонування програмного рівня

На початковому етапі серверний модуль приймає подію доступу, сформовану апаратним рівнем, та виконує перевірку цілісності отриманого повідомлення [4]. У разі виявлення помилок формується повідомлення про необхідність повторного надсилання даних. Після успішної валідації здійснюється перевірка на дублювання подій.

Далі формується множина факторів автентифікації, зокрема RFID- та біометричний фактори.

Алгоритм роботи аналітичного рівня IoT-системи обліку робочого часу відображено на рисунку 3.

Аналітичний рівень забезпечує обробку підтверджених сесій доступу, що надходять із серверного рівня системи [4]. На основі даних таблиці accesssessions формується часовий профіль кожного користувача, який включає впорядковані події входу та виходу. Далі ці події групуються у пари «вхід–вихід», що утворюють інтервали присутності працівника на робочому місці.

На завершальному етапі результати аналітичного опрацювання — включно з розрахованим робочим часом, виявленими аномаліями та прогнозними характеристиками поведінки — передаються до хмарного середовища через edge-рівень для подальшого збереження, візуалізації та формування звітності [5].

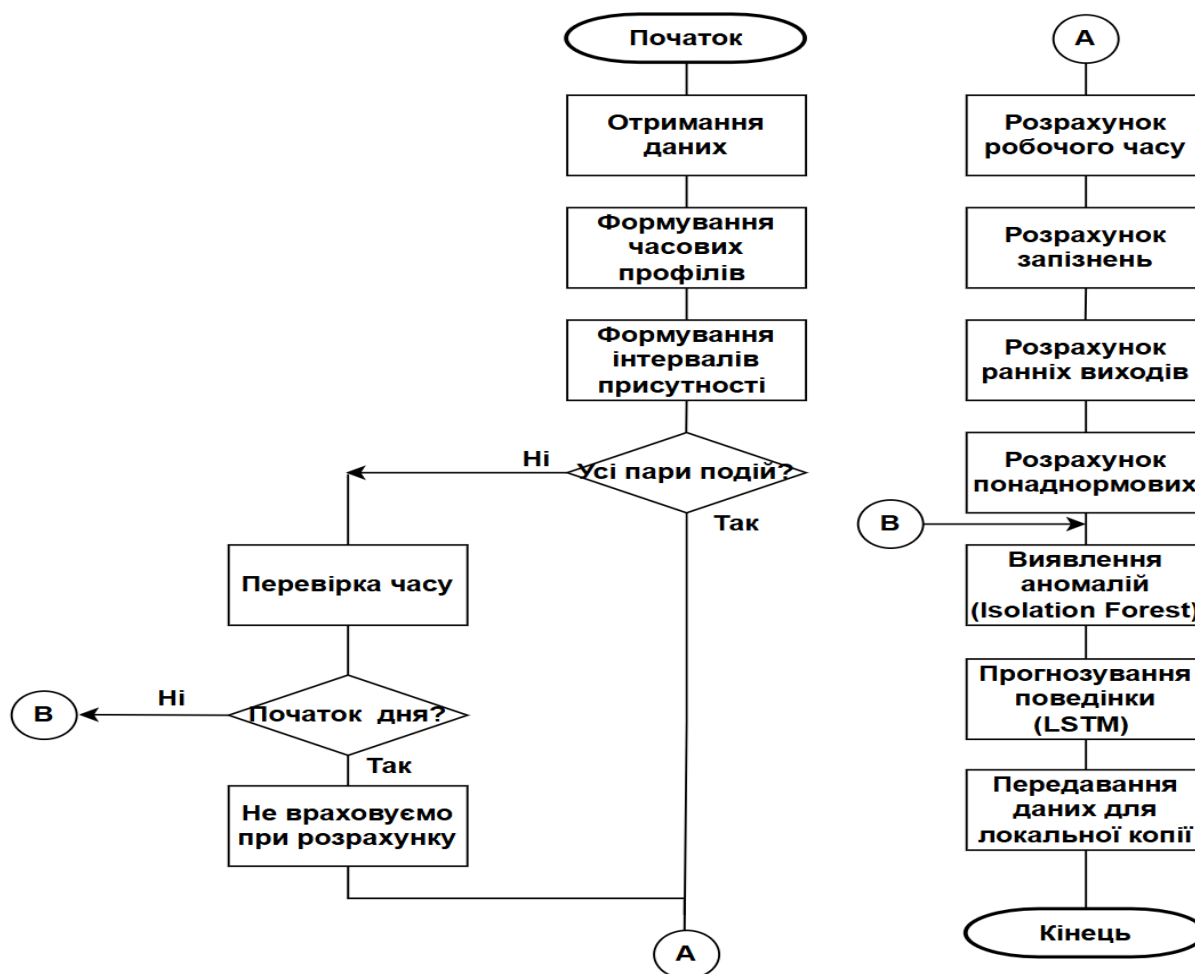


Рисунок 3 – Алгоритм роботи аналітичного рівня

Список використаних джерел

- Espressif Systems. (2024). ESP-IDF Programming Guide: FreeRTOS (Overview), v5.3. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/system/freertos.html>
- Abolhassani Khajeh, S., Saberikamarposhti, M., Rahmani, A. M. Real-time scheduling in IoT applications: A systematic review. *Sensors*. 2023. Vol. 23, Is.1. <https://doi.org/10.3390/s23010232>
- Elhanashi, A., Dini, P., Saponara, S., Zheng, Q. Integration of deep learning into the IoT: A survey of techniques and challenges for real-world applications. *Electronics*. 2023. Vol. 12, Is.24. <https://doi.org/10.3390/electronics12244925>
- Гнатів С.В., Васильків Н.М. Модернізація IoT-модуля обліку робочого часу на основі ESP32. *Advanced Technologies in Scientific Research: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. International Scientific Unity. February 25-27, 2026, Rotterdam, Netherlands. P. 256-258. URL: <https://isu-conference.com/en/archive/advanced-technologies-in-scientific-research-25-02-26/> DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-25.02.2026>
- Andriulo, F. C., Fiore, M., Mongiello, M., Traversa, E., Zizzo, V. Edge computing and cloud computing for Internet of Things: A review. *Informatics*. 2024. Vol. 11, Is.4. <https://doi.org/10.3390/informatics11040071>

ВПЛИВ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Заблоцький Микола Миколайович, аспірант
mykola.zablotskyu@gmail.com

Хміль Володимир Андрійович, аспірант
vovanuch2807@gmail.com

Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет,
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Будь-яка система, як комплекс елементів та зв'язків між ними, характеризується надійністю функціонування. Ця властивість притаманна й інформаційним системам. Для того, щоб інформаційна система була надійною, потрібно в умовах експлуатації всі її параметри втримувати в дозволені межах. Тільки за цієї умови система буде виконувати покладені на неї функції [1].

Рівень надійності інформаційної системи залежить від реальних умов функціонування технічних та програмних засобів, рівня кваліфікації та надійності дій персоналу, режимів праці і відпочинку, раціонального розподілу завдань, технічного обслуговування тощо [2].

Що стосується видів забезпечення системи, то найбільш визначальними з точки зору надійності є: технічне, програмне, інформаційне та персонал [3].

Розглянемо людські ресурси, які відіграють особливо важливу роль для якісного та надійного функціонування системи.

Нехай, оперативний персонал HR інформаційної системи сформовано із n фахівців, які виконують m функцій, необхідних для виконання професійних дій безпосередньо на робочих місцях та обслуговування системи:

$$HR = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}, \quad (1)$$

а виконувани ними роботи будуть пов'язані з кількістю функцій у вигляді множини

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}. \quad (2)$$

Склад персоналу, який має права доступу до системи, може бути описаний у вигляді:

$$HR = \{F_m, T, V\}, \quad (3)$$

де HR - загальний склад персоналу;
 F_m – функціональні спеціалісти;
 T – фахівці групи технічного обслуговування;
 V – фахівці зовнішнього супроводу системи.

Працівник F при виникненні під час функціонування системи проблеми P , маючи високий рівень професійного досвіду, може усунути її самостійно, виконавши роботу w_f за час t_f :

$$P(W) = \{w_f(F), t_f\}. \quad (4)$$

Якщо проблему не вдалось оперативно вирішити, то усуненням проблеми займаються фахівці групи технічного обслуговування:

$$P(W) = \{w_t(T), t_t\}. \quad (5)$$

Надалі, якщо функціонування системи не відновлено, то це завдання покладається на фахівців зовнішнього супроводу системи, наприклад, представників фірми-розробника системи або фірм, які займаються ремонтом комп'ютерної техніки:

$$P(W) = \{w_v(V), t_v\}. \quad (6)$$

Таким чином, повний цикл відновлення функціонування системи

$$P(W) = \{w_f(F), t_f; w_t(T), t_t; w_v(V), t_v\}, \quad (7)$$

а тривалість відновлення працездатного стану системи становить суму всіх затрачених часів:

$$T_B = t_f + t_t + t_v. \quad (8)$$

Але на рівень надійності інформаційної системи та якість її функціонування впливає не лише професійна кваліфікація, а й загальний стан організму працівників, також пов'язаний із різними чинниками [4].

Загальний стан i -того представника персоналу інформаційної системи може бути описаний у вигляді:

$$S_i = \{A_i, B_i, C_i, K_i\}, \quad (9)$$

де S_i - загальний стан працівника;
 A_i - кваліфікаційна характеристика працівника;
 B_i - психологічна характеристика стану працівника;
 C_i - фізіологічна характеристика стану працівника;
 K_i – завантаженість працівника завданнями.

У процесі роботи працівник може піддаватись різним впливам, в результаті чого його стан в момент часу t_w зміниться:

$$S_{i(tw)} = \{e_i A_i; e_i B_i; e_i C_i; e_i K_i\} \quad , \quad (10)$$

де $S_{i(tw)}$ - загальний стан працівника в момент часу t_w ;

e_i - коефіцієнт, що відображає вплив на працівника ентропії за час t_w ;

A_i - кваліфікаційна характеристика працівника в момент часу t_w ;

B_i – психологічний стан працівника в момент часу t_w ;

C_i – фізіологічний стан працівника в момент часу t_w ;

K_i – завантаженість працівника завданнями в момент часу t_w .

Як видно із співвідношень, стан працівників може змінюватись та певним чином впливати на виконання безпосередніх функцій на робочих місцях, що теж матиме вплив на надійність та якість функціонування інформаційної системи.

Для ідентифікації зміни стану персоналу системи слід порівняти значення S_i , та $S_{i(tw)}$. В кращому випадку, стан працівника повинен покращуватись, тобто

$$S_i \leq S_{i(tw)}. \quad (11)$$

Якщо жодні сторонні чинники не вплинули на даного працівника, то ці значення збігаються. Найгіршою є ситуація, коли стан працівника зазнає негативних змін. У цьому випадку керівництво повинно вжити відповідних заходів щодо забезпечення надійності виконання функцій персоналом, наприклад, змінивши режим чи графік роботи.

Таким чином, надійність інформаційної системи залежить від реальних умов її функціонування, зокрема, визначальними є кваліфікація персоналу, внутрішні та зовнішні фактори впливу на стан організму працівників, ергономічне забезпечення, рівень технічного обслуговування тощо.

Список використаних джерел

1. Вишнівський В.В., Василенко В.В., Гніденко М.П., Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Іщеряков С.М. Основи надійності та діагностики інформаційних систем. Київ: ДУТ, 2020. 184 с.
2. Васильків Н. М., Турченко І.В., Веретик Н.Й. Фактори впливу на надійність функціонування інформаційних управляючих систем. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (ACIT'2016): VI Всеукраїнська школа-семінар молодих вчених і студентів*, 20-21 травня 2016 р.: матеріали. Тернопіль, 2016. С. 98-99.
3. Nadiia Vasykiv, Lesia Dubchak, Iryna Turchenko, Iryna Ivashchuk, Ruslan Savchysyn. Fuzzy Estimation Method of Information System Providing Part Influence on the Functioning Quality. *The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019)*, 18-21 September, 2019, Metz, France. Vol.1. P. 980-984.
4. Кулікова Л., Онокало О. Психологічні особливості готовності фахівців у галузі інформаційних систем і технологій до професійної діяльності. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 12. Психологічні науки*. 2025. Вип.28 (73). С. 113-124. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series12.2025.28\(73\).10](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series12.2025.28(73).10)

УДК 004.5: 004.77

ІНТЕРАКТИВНИЙ UI/UX МОДУЛЬ МОБІЛЬНОГО СЕРВІСУ ОНЛАЙН-ЗАМОВЛЕНЬ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

Клюд Діна Валеріївна, студентка
klyud.dina@gmail.com

Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Сучасний розвиток цифрових технологій суттєво впливає на сферу охорони здоров'я та фармацевтичних послуг. Зокрема, все більшої популярності набувають онлайн-сервіси для пошуку, бронювання та замовлення лікарських засобів, які дають змогу користувачам отримувати необхідну інформацію про препарати без необхідності особистого відвідування аптек. Особливої актуальності такі сервіси набули після пандемії COVID-19 та під час війни, коли значна частина користувачів почала активно використовувати цифрові платформи для дистанційного отримання послуг та оформлення замовлень [1].

Основною перевагою сучасних аптечних онлайн-сервісів є можливість швидкого пошуку лікарських засобів, порівняння цін у різних аптечних мережах, перегляду наявності препаратів та оформлення онлайн-бронювання або доставки. Такі системи сприяють оптимізації часу користувачів та підвищують доступність фармацевтичних послуг для людей з обмеженою мобільністю або користувачів, які потребують регулярного придбання медикаментів [2].

Попри активний розвиток цифрових сервісів у сфері фармацевтики, існуючі рішення мають низку недоліків. Частина мобільних застосунків характеризується перевантаженим інтерфейсом, складною навігацією або великою кількістю дій, необхідних для виконання основних користувацьких сценаріїв. Крім цього, окремі сервіси не забезпечують достатній рівень персоналізації, не підтримують нагадування про регулярний прийом препаратів або мають обмежені можливості щодо роботи з електронними рецептами [3].

Проведене дослідження та аналіз сучасних мобільних сервісів та онлайн-аптек, серед яких розглядалися Tabletki.ua, Liki24 та міжнародні цифрові фармацевтичні платформи [4, 5], вказують на те, що більшість сучасних сервісів мають подібний набір базових функцій: пошук лікарських засобів, перегляд інформації про препарати, порівняння цін, бронювання та доставка медикаментів (таблиця 1). Водночас значна частина платформ недостатньо орієнтована на оптимізацію користувацького досвіду та спрощення навігації.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики додатків

Функціональна можливість	Tabletki.ua	Liki24	NowPatient
Пошук лікарських засобів	+	+	+
Перегляд інформації про препарат	+	+	+
Порівняння цін у різних аптеках	+	+	частково
Перегляд аптек на карті	+	+	+
Онлайн-бронювання препарату	+	+	+
Доставка лікарських засобів	немає	+	+
Створення списку препаратів	+	+	+
Інтеграція з електронними рецептами	немає	немає	+
Мобільний застосунок	+	+	частково
Персональний кабінет користувача	+	+	+

Метою даної роботи є створення інтерактивного UI/UX модуля мобільного сервісу онлайн-замовлень лікарських засобів “Pocket Pharmacy”, який забезпечить користувачам можливість швидкого пошуку препаратів, порівняння цін у різних аптеках, перегляду інформації про лікарські засоби та оформлення онлайн-замовлень через зручний і зрозумілий інтерфейс.

У процесі дослідження було визначено основні вимоги до проєктованого мобільного сервісу. Одним із ключових аспектів є створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, який дозволить користувачу швидко виконувати основні дії: пошук препарату, перегляд аптек, порівняння цін та оформлення замовлення. Особлива увага надається мінімізації кількості кроків під час взаємодії із системою, адаптації інтерфейсу до мобільних пристроїв та забезпеченню доступності сервісу для різних категорій користувачів.

Запропонований сервіс “Pocket Pharmacy” орієнтований на реалізацію сучасних UI/UX-підходів до організації мобільних інтерфейсів. Основою концепції є використання спрощеної структури навігації, акцент на пошуковому функціоналі та швидкому доступі до ключових можливостей системи. Інтерфейс застосунку проєктується з використанням принципів мінімалізму, візуальної

ієрархії та card-based дизайну, що сприяє покращенню сприйняття інформації користувачем.

Функціональна структура сервісу передбачає наявність основних модулів: пошуку лікарських засобів, сторінки препарату, перегляду аптек, оформлення замовлення, історії покупок та персонального кабінету користувача. Крім цього, у системі передбачено реалізацію функції персоналізованих нагадувань про регулярний прийом препаратів та можливість збереження історії замовлень.

У межах роботи також було створено інтерактивний прототип мобільного застосунку у середовищі Figma. Прототип демонструє основні сценарії взаємодії користувача із системою та дозволяє оцінити логіку навігації, структуру інтерфейсу та зручність виконання основних дій.

Під час проєктування інтерфейсу враховувалися сучасні принципи UI/UX-дизайну, зокрема consistency, accessibility та usability. Для забезпечення кращого користувацького досвіду було використано нижню панель навігації, великі інтерактивні елементи та структуроване відображення інформації про лікарські засоби.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують актуальність розробки мобільних сервісів для онлайн-замовлення лікарських засобів та демонструють важливість якісного UI/UX-проєктування для забезпечення ефективної взаємодії користувача із системою. Розроблений інтерактивний прототип “Rocket Pharmacy” може бути використаний як основа для подальшої реалізації повноцінного мобільного застосунку у сфері цифрових фармацевтичних послуг.

Список використаних джерел

1. Suffescom Solutions. Custom medicine delivery app development services and industry standards. 2024. URL: <https://www.suffescom.com/product/medicine-delivery-app-development-company>
2. Appinventiv. Medicine Delivery App Development: A Complete Guide. 2024. URL: <https://appinventiv.com/blog/medicine-delivery-app-development/>
3. Olumide Emmanuel Ibikunle, et al. AI and digital health innovation in pharmaceutical development *Computer Science & IT Research Journal*. 2024. Vol. 5. P. 2301-2340. DOI:10.51594/csitrj.v5i10.1649
4. Tabletki.ua. Пошук і бронювання лікарських засобів онлайн. URL: <https://tabletki.ua/>
5. Liki24. Онлайн-сервіс пошуку та доставки лікарських засобів. URL: <https://liki24.com/uk/>

УДК 004.77:004.42

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ

Концограда Світлана Михайлівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
kontsohradas@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри
інформаційно-обчислювальних систем
і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669

Західноукраїнський національний університет

У сучасних умовах цифрової трансформації ресторанного бізнесу набуває введення веб-орієнтованих інформаційних систем, які забезпечують оптимізацію процесів бронювання столиків, організації заходів, управління замовленнями та взаємодії з клієнтами. У сучасних дослідженнях розглядають питання автоматизації ресторанних бізнесів, використання інформаційних технологій та цифрових систем управління.

У праці [1] автори розглядають важливість використання інформаційних систем у діяльності сучасних ресторанів. Дослідники вказують, що автоматизація дозволяє оптимізувати управлінські процеси, удосконалити облік ресурсів та підвищити швидкість прийняття управлінських рішень. Особлива увага приділена на те, що такі інформаційні системи є необхідною складовою конкурентоспроможного ресторанного бізнесу.

У статті [2] досліджуються теоретичні аспекти інформаційних процесів управління ресторанними бізнесами. Автори аналізують структуру інформаційних систем, їх програмні та організаційні компоненти, а також визначають роль цифрових технологій у забезпеченні якісного та швидкого обслуговування клієнтів. У роботі наголошується на те, що сучасні інформаційні системи сприяють автоматизації бізнес-процесів, підвищують швидкість обслуговування та покращують комунікації між персоналом і клієнтами.

Також важливий внесок у дослідження цифрової трансформації ресторанної сфери зроблено у [3]. У роботі розглядаються сучасні цифрові інструменти та ІТ-рішення, які використовуються у ресторанному бізнесі, наприклад, CRM-системи, аналітичні платформи та веб-орієнтовані сервіси. Автори звертають увагу на те, що використання цифрових систем сприяє вдосконаленню процесів організації заходів, бронювання столиків, залів та взаємодії з клієнтами, що є важливим елементом для розробки веб-орієнтованих інформаційних систем.

На основі проведеного аналізу джерел можна зробити висновок, що сучасні веб-орієнтовані інформаційні системи повинні забезпечувати автоматизацію основних бізнес-процесів ресторанної діяльності, наприклад організацію заходів, бронювання залів, самостійне формування меню, управління замовленнями та взаємодію з користувачами. Тому було сформовано загальну структуру веб-орієнтованої інформаційної системи організації заходів у ресторанному бізнесі, яка представлена на рисунку 1.

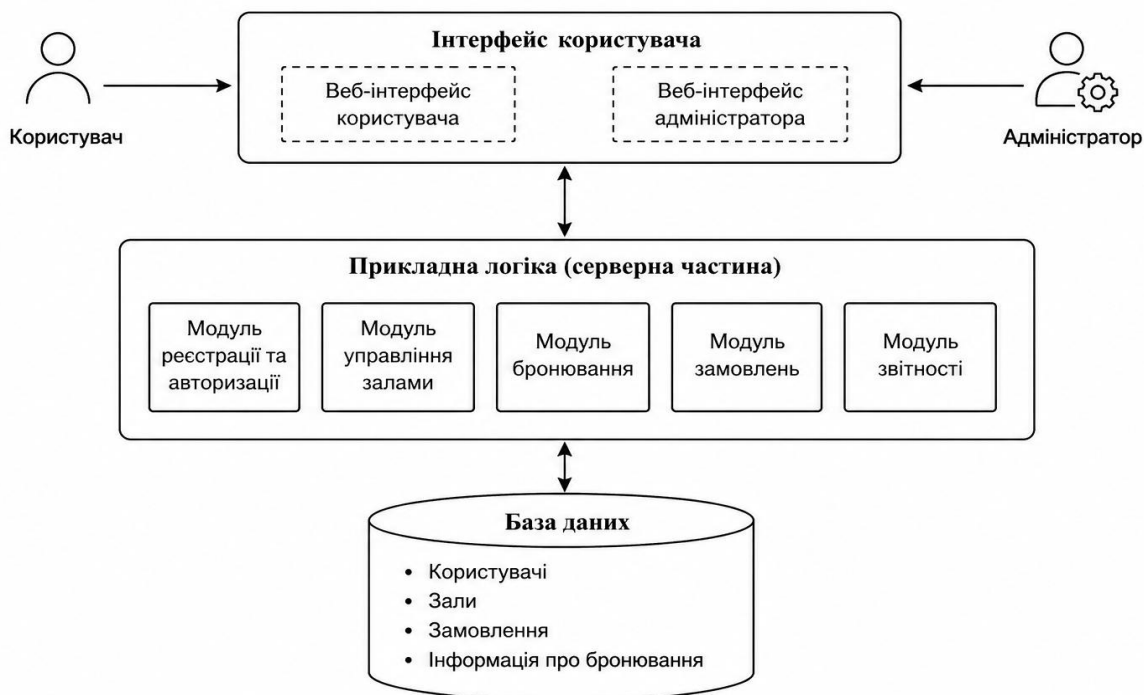


Рисунок 1 – Структура веб-орієнтованої інформаційної системи

Визначено основні елементи системи: користувачів, замовлення та зали, а також встановлено зв'язки між ними. Тобто, один користувач може створювати кілька замовлень, а кожен зал може бути пов'язаний із різними замовленнями. Завдяки такому способу, інформацію про замовлення можна впорядкувати і уникнути дублювання даних та забезпечити управління інформаційними потоками.

Під час розробки системи основна увага приділялася швидкості роботи, зручності використання та можливості подальшого розширення функціоналу. Важливим етапом стало створення простого та зрозумілого інтерфейсу, який дозволяє користувачам без технічних знань легко оформлювати замовлення та взаємодіяти із системою. Складний або перевантажений інтерфейс може ускладнювати роботу користувача та стати причиною відмови від оформлення заявки ще на початковому етапі.

Окремий функціонал управління даними системи є для адміністратора. Він має доступ до інформації про всі замовлення, може перевіряти, переглядати замовлення та видаляти в разі потреби. Важливою складовою системи є забезпечення захисту та надійності даних. У системі реалізовано різні права

доступу відповідно до ролей користувачів, завдяки чому звичайні користувачі та адміністратор мають різні можливості й можуть виконувати лише передбачені для них функції. Тобто клієнти мають можливість лише оформити свої замовлення, а адміністратор може переглядати дані сформовані клієнтами.

Таким чином, запропонована інформаційна система є сучасним засобом оптимізації процесу організації заходів, що відповідає сучасним вимогам до цифрових рішень у сфері управління даними та сервісами. Веб-орієнтована інформаційна система для організації заходів у ресторанному бізнесі (головна сторінка представлена на рисунку 2) дозволяє оптимізувати процес оформлення замовлень, спростити взаємодію між клієнтом і закладом та підвищити управління ресторанными послугами.

Інформація про захід:

Ім'я та прізвище

Номер телефона

+380

Потрібно ще цифру: 9

Електронна пошта

example@gmail.com

Дата

ДД - ММ - РРРР

Час

-- : --

Кількість гостей (до 80 осіб)

Тип бенкету

Оберіть тип

Зал

Оберіть зал

Далі до вибору меню

Рисунок 2 - Головна сторінка веб-орієнтованої інформаційної системи організації заходів у ресторанному бізнесі

Розроблена інформаційна система не лише забезпечує зручну роботу з даними та сервісами, а й закладає основу для подальшого розвитку проекту. Завдяки модульній структурі, систему можна легко розширювати у майбутньому, додавати нові функції відповідно до потреб бізнесу і впроваджувати у реальних умовах роботи ресторану, а також доопрацьовувати у майбутньому шляхом додавання нових функцій, таких як онлайн-оплата, інтеграція з CRM-системами або розширена аналітика замовлень. Це дозволить

ресторану швидко адаптуватися до змін на ринку, покращувати якість обслуговування клієнтів та швидко масштабувати цифрові послуги.

Список використаних джерел

1. Golovko G., Borozdin M., Tokar Y. The need to implement automation and information system in the management of the restaurant business. *Control, navigation and communication systems*. 2021. № 2(64). P. 67-69. URL: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/2309>
2. Небаба Н.О., Кучер М. М., Язіна В. А., Сайгак Є. Л., Головко Н. О. Теоретичні аспекти інформаційного забезпечення процесів управління підприємствами ресторанного господарства. *Системи та технології*. 2023. № 2 (66). С. 138-147.
3. Шулежко О., Гончар Л. Формування системи цифрового менеджменту в ресторанному бізнесі крізь призму методологічних підходів. *Економіка та суспільство*. 2024. № 69. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5163>

УДК 004.9 : 620.92 : 519.87

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ

Олізар Михайло, студент,
olizar.mykhailo@student.uzhnu.edu.ua

Морохович Василь, к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедри інформатики та фізико-
математичних дисциплін, ДВНЗ
«Ужгородський національний університет»,
vasyl.morokhovych@uzhnu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-4939-6566

Сучасний стан глобального ринку енергетичних послуг демонструє стрімку динаміку зростання попиту на спеціалізовані рішення у галузі відновлюваної енергетики, які здатні забезпечувати не лише оперативний, а й високопрецизійний моніторинг потенційної генерації [1]. Актуальність розроблення таких платформ зумовлена трансформацією енергетичного сектору в бік децентралізації мереж, підвищенням рівня енергетичної незалежності та об'єктивною потребою у швидкому доступі до верифікованих метеорологічних даних для прийняття обґрунтованих рішень щодо конфігурації гібридних систем. На сучасному етапі кінцеві користувачі дедалі частіше обирають цифрові рішення, оскільки вони гарантують високу швидкість розрахунків та відкривають можливості для персоналізованого контролю техніко-економічних показників [2, 3].

У роботі представлено методологічні засади розроблення інформаційної технології, реалізованої у форматі десктопного програмного забезпечення «RaCore», що призначене для комплексного управління процесами проектування та енергетичного моделювання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Функціональні можливості системи охоплюють систематичне введення технічних характеристик генерувального обладнання, автоматичну агрегацію метеорологічних даних через зовнішні програмні інтерфейси, а також побудову детальних графіків енергетичного балансу для візуалізації динаміки генерації та споживання електроенергії. Платформа базується на чіткому сценарії погодинної симуляції енергетичних потоків (8760 ітерацій за рік), що включає розрахунок потенціалу сонячної інсоляції, анемометричних показників локації та гідрологічних параметрів для мікрогідроелектростанцій. Таке широке охоплення вхідних даних дозволяє сформулювати максимально повну та точну інформаційну базу, що є необхідною умовою для проведення якісного техніко-економічного аналізу проектів. Важливою методичною особливістю рішення є використання фреймворку Taugi, що забезпечує нативне виконання додатка з використанням системних ресурсів операційної системи, гарантуючи високу

швидкодію при мінімальному споживанні пам'яті. У поєднанні зі строгою типізацією мови TypeScript це забезпечує високий рівень стандартизації обчислювальних процесів та відтворюваності результатів, що дозволяє мінімізувати ймовірні похибки у фізичних розрахунках і створює надійний фундамент для автоматичної генерації професійних PDF-звітів. Центральним вузлом архітектури платформи є інтегрована панель управління, спроєктована за патерном «Майстер налаштувань» (Wizard). Інтерфейс у режимі реального часу акумулює та відображає актуальні показники очікуваної генерації через систему інтерактивних карток та динамічної інфографіки (рисунок 1). Така організація робочого простору сприяє максимально швидкому сприйняттю інженерної інформації та забезпечує оперативний контроль над ключовими параметрами системи.



Рисунок 1 – Інтерфейс додатка «RaCore»

Аналітичний інструментарій додатка дозволяє користувачеві не лише фіксувати поточні параметри обладнання, а й відстежувати довгострокові тенденції окупності, порівнювати різні конфігурації гібридних систем та на основі цих даних приймати обґрунтовані рішення щодо масштабування генерувальних потужностей. Особливу увагу в процесі розробки приділено візуалізації результатів: система автоматично будує деталізовані графіки розподілу енергії за місяцями, де чітко простежується внесок кожного окремого джерела (СЕС, ВЕС, мікро-ГЕС) у загальний енергетичний баланс (рисунок 2).

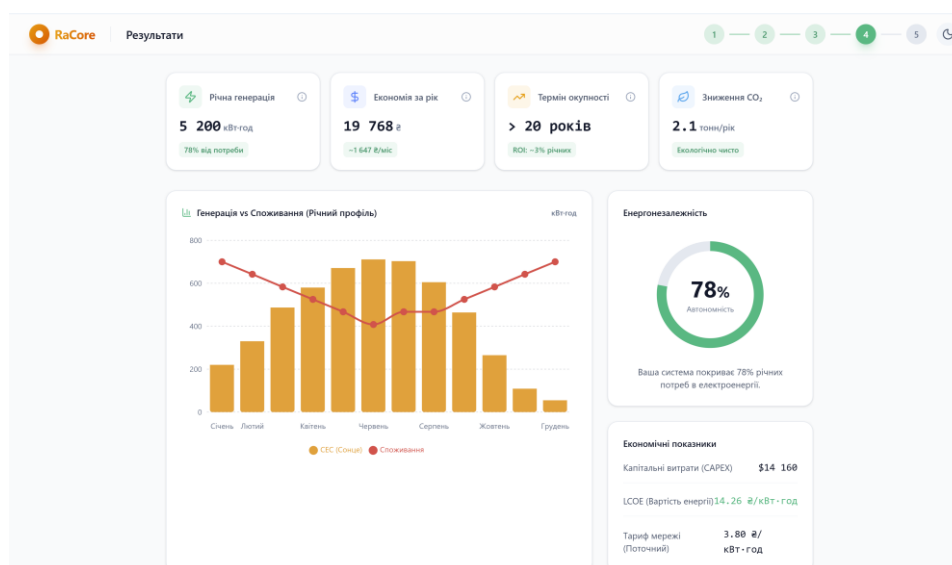


Рисунок 2 – Розподіл місячної генерації електроенергії за типами ВДЕ

Це значно посилює рівень персоналізації проектування та сприяє формуванню у користувача ефективних стратегій досягнення енергетичної автономії.

Математичне забезпечення системи включає методи чисельного моделювання фізичних процесів та алгоритми статистичної обробки кліматичних масивів. Для обробки часових рядів метеоданих, отриманих через Open-Meteo API [4], використовуються специфічні фізичні моделі для кожного типу генерації. Розрахунок кінетичної енергії вітрового потоку для вітрогенераторів базується на кубічній залежності потужності від швидкості вітру з урахуванням логарифмічного профілю висоти щогли. Теоретичну механічну потужність вітротурбіни визначають за формулою:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря;

A – площа охоплення ротора;

v – швидкість вітру;

C_p – коефіцієнт використання потужності вітру.

Для моделювання сонячної генерації критично важливим є врахування впливу температури на ефективність фотоелектричних комірок. Фактичну потужність сонячної панелі з урахуванням відхилення від стандартних тестових умов (STC) визначають за формулою:

$$P_{solar} = P_{STC} \cdot [1 + \gamma \cdot (T_{cell} - 25)], \quad (2)$$

де P_{STC} – номінальна (паспортна) потужність модуля;

γ – температурний коефіцієнт потужності;

T_{cell} – розрахована температура фотоелемента у заданий момент часу.

Прецизійне моделювання мікрогідроелектростанцій вимагає обчислення втрат у трубопроводі за емпіричною формулою Хазена-Вільямса для визначення чистого напору. Розрахунок механічної потужності гідротурбіни описується рівнянням:

$$P_{hydro} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{net} \cdot \eta, \quad (3)$$

де ρ – густина води;

g – прискорення вільного падіння;

Q – об'ємна витрата води;

H_{net} – чистий напір;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) турбіни.

Впровадження таких комплексних аналітичних інструментів безпосередньо у десктопний додаток перетворює його з простого реєстратора даних на інтелектуальну систему підтримки прийняття інженерних рішень щодо доцільності розгортання ВДЕ. Перспективним напрямом розвитку системи є

інтеграція розширеного функціонала прогнозування на основі методів машинного навчання для виявлення аномалій у генерації.

Архітектурна побудова платформи базується на раціональній організації компонентів із чітким розмежуванням обов'язків між клієнтським інтерфейсом на React та системним ядром мовою Rust. Використання сучасного стеку технологій створює необхідні умови для подальшого масштабування продукту та постійного підвищення загальної продуктивності системи під час обробки масивних обсягів кліматичних даних.

Розроблене програмне рішення «RaCore» демонструє значну практичну цінність для сучасної галузі відновлюваної енергетики, оскільки воно оптимізує процеси збору метеорологічних масивів, їхнього структурування та прецизійного аналізу. Система сприяє прискоренню об'єктивної оцінки енергетичного потенціалу обраної локації та виступає як цілісна платформа для підтримки прийняття рішень щодо техніко-економічної трансформації енергозабезпечення.

Таким чином, створений продукт є комплексним інструментом цифрового моделювання, що поєднує функції симуляції фізичних процесів, багатокритеріальної обробки даних та наочної візуалізації. Десктопний додаток на базі фреймворку Taui забезпечує високу достовірність розрахунків, підвищує ефективність контролю за ключовими техніко-економічними показниками (LCOE, NPV, CAPEX) та формує фундамент для впровадження методів предиктивної аналітики у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Khare V., Nema S., Baredar P. Solar-wind hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 58. P. 23-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>.
2. Sinha S., Chandel S. S. Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 32. P. 192-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.035>.
3. Staffell I., Pfenninger S. Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. *Energy*. 2016. Vol. 114. P. 1224-1239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068>.
4. Open-Meteo: Free Weather Forecast API. Documentation. URL: <https://open-meteo.com/en/docs>.

ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ GPU У ЗАДАЧАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРИ AI- ТА EDGE-НАВАНТАЖЕННЯХ

Путькало Микола Павлович, студент,
putkalo2003@gmail.com

Домбровський Михайло Збишекович,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем та управління,
Західноукраїнський національний університет
m.dombrovskyi@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-5582-5793

Сучасні технології комп'ютерної візуалізації характеризуються стрімким зростанням обчислювальної складності, що зумовлено впровадженням трасування променів у реальному часі, нейронної реконструкції зображень та генеративних моделей штучного інтелекту. Це призводить до суттєвого підвищення вимог до графічних процесорів, які сьогодні дедалі частіше розглядаються як універсальні гетерогенні обчислювальні платформи, здатні виконувати не лише графічні задачі, але й AI-інференс, навчання нейронних мереж та обробку потокових даних у реальному часі [2, 3]. Така трансформація змінює класичну роль GPU від спеціалізованих графічних прискорювачів до універсальних вузлів паралельних обчислень.

Традиційні методи оцінювання продуктивності GPU, що базуються на синтетичних тестах, не відображають реальної поведінки сучасних графічних процесорів у змішаних навантаженнях [1]. У реальних сценаріях одночасно виконуються рендеринг, фізичне моделювання та AI-обчислення, що формує складні та нерівномірні профілі завантаження обчислювальних блоків. Це робить класичні метрики недостатніми для коректного аналізу продуктивності.

Архітектурна продуктивність сучасних GPU визначається не лише тактовою частотою, а й ступенем паралелізму, пропускнуою здатністю пам'яті та ефективністю спеціалізованих обчислювальних блоків, зокрема тензорних та RT-ядер [2, 3]. Додатковий вплив мають сучасні графічні технології апаратного прискорення трасування променів, які суттєво змінюють навантаження на GPU та збільшують роль архітектурної оптимізації.

Технології реконструкції зображення, такі як DLSS та FidelityFX Super Resolution, змінюють баланс між якістю візуалізації та обчислювальним навантаженням, фактично перетворюючи рендеринг на гібридний процес, що поєднує класичні графічні та AI-методи [5, 10]. Це додатково ускладнює оцінювання продуктивності, оскільки частина навантаження переноситься на нейронні та тензорні блоки GPU.

Окремим напрямом розвитку є edge-обчислення, де обробка даних виконується максимально близько до джерела їх генерації. У таких системах критичними стають затримка виконання, енергоефективність та стабільність продуктивності під тривалим навантаженням. GPU у цьому контексті виступають ключовими прискорювачами, що забезпечують баланс між продуктивністю та енергоспоживанням у системах реального часу, IoT та автономних обчислювальних середовищах [8, 12].

Зростання ролі генеративних моделей штучного інтелекту, зокрема Stable Diffusion, формує новий клас обчислювальних навантажень, у яких основними обмеженнями є пропускна здатність пам'яті та ефективність тензорних блоків GPU [9]. Це призводить до того, що традиційні метрики, такі як середній FPS або синтетичні бали продуктивності, не відображають реальної ефективності системи.

У межах дослідження запропоновано багатокритеріальний підхід до оцінювання продуктивності GPU, який враховує графічні, AI та edge-навантаження. Експериментальна система включає модуль генерації навантаження, підсистему збору метрик та аналітичний блок обробки результатів, що дозволяє оцінювати як пікову продуктивність, так і стабільність виконання навантаження у часі. Загальна структура запропонованої системи оцінювання продуктивності GPU у сценаріях AI, графічних та edge-навантажень представлена на рисунку 1.

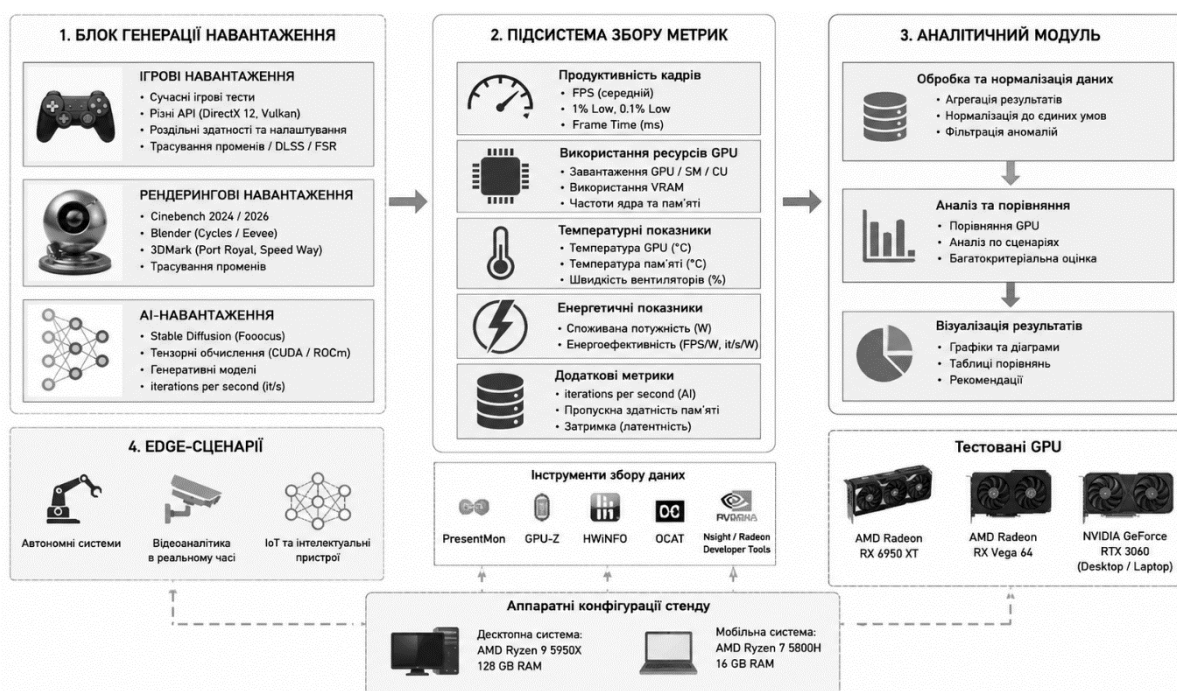


Рисунок 1 – Схема оцінювання продуктивності GPU

Експериментальні дослідження виконувалися на двох апаратних конфігураціях: настільній системі AMD Ryzen 9 5950X із 128 GB RAM та мобільній системі AMD Ryzen 7 5800H із 16 GB RAM. Це дозволило оцінити

вплив класу платформи на поведінку GPU в умовах обмежених ресурсів та енергоспоживання.

У тестуванні використовувалися графічні адаптери AMD Radeon RX 6950 XT, AMD Radeon RX Vega 64 та NVIDIA GeForce RTX 3060 (desktop і laptop версії), що представляють різні архітектурні покоління GPU.

Результати синтетичного тестування продуктивності у Cinebench 2024 наведені на рисунку 2, який демонструє залежність продуктивності від архітектури та програмної оптимізації.

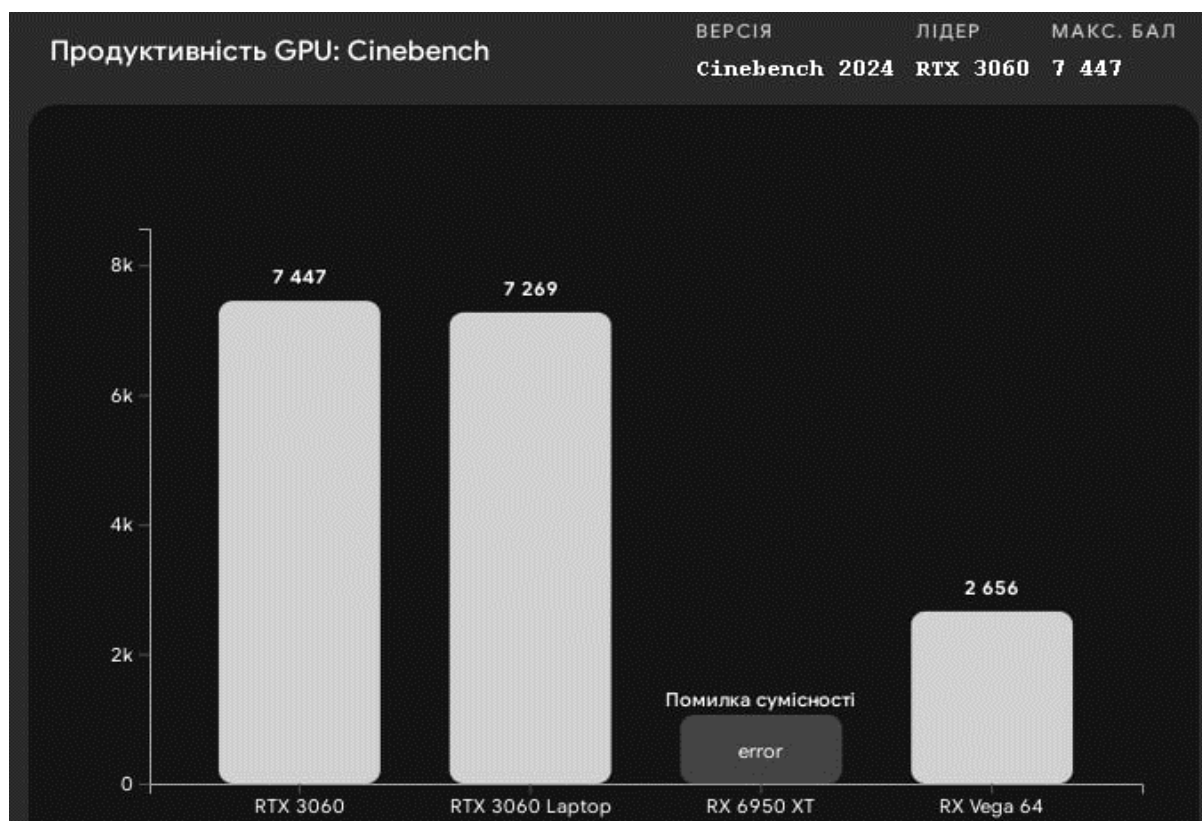


Рисунок 2 – Продуктивність GPU у Cinebench 2024

У тесті Cinebench 2024 найвищий результат продемонструвала NVIDIA GeForce RTX 3060 (7 447 балів), що корелює з архітектурною ефективністю Ampere у багатопотокових обчислювальних сценаріях та стабільною підтримкою сучасних графічних і обчислювальних API. AMD Radeon RX 6950 XT не завершила виконання тесту через драйверні обмеження та специфіку програмної реалізації навантаження, що підкреслює залежність синтетичних метрик від рівня програмно-апаратної сумісності. RX Vega 64 демонструє суттєво нижчі результати, зумовлені архітектурними обмеженнями GCN, зниженою ефективністю виконання сучасних SIMD-орієнтованих обчислювальних потоків та відсутністю апаратної підтримки нових інструкційних розширень, що визначає її низьку конкурентоспроможність у сучасних НРС-навантаженнях.

Результати тестування у Cinebench 2026 наведені на рисунку 3 та відображають масштабованість продуктивності сучасних GPU-архітектур у

розширених багатопотокових сценаріях, що наближаються до реальних НРС-навантажень і забезпечують більш коректну оцінку ефективності розподілу обчислювальних ресурсів між ядрами та підсистемою пам'яті.

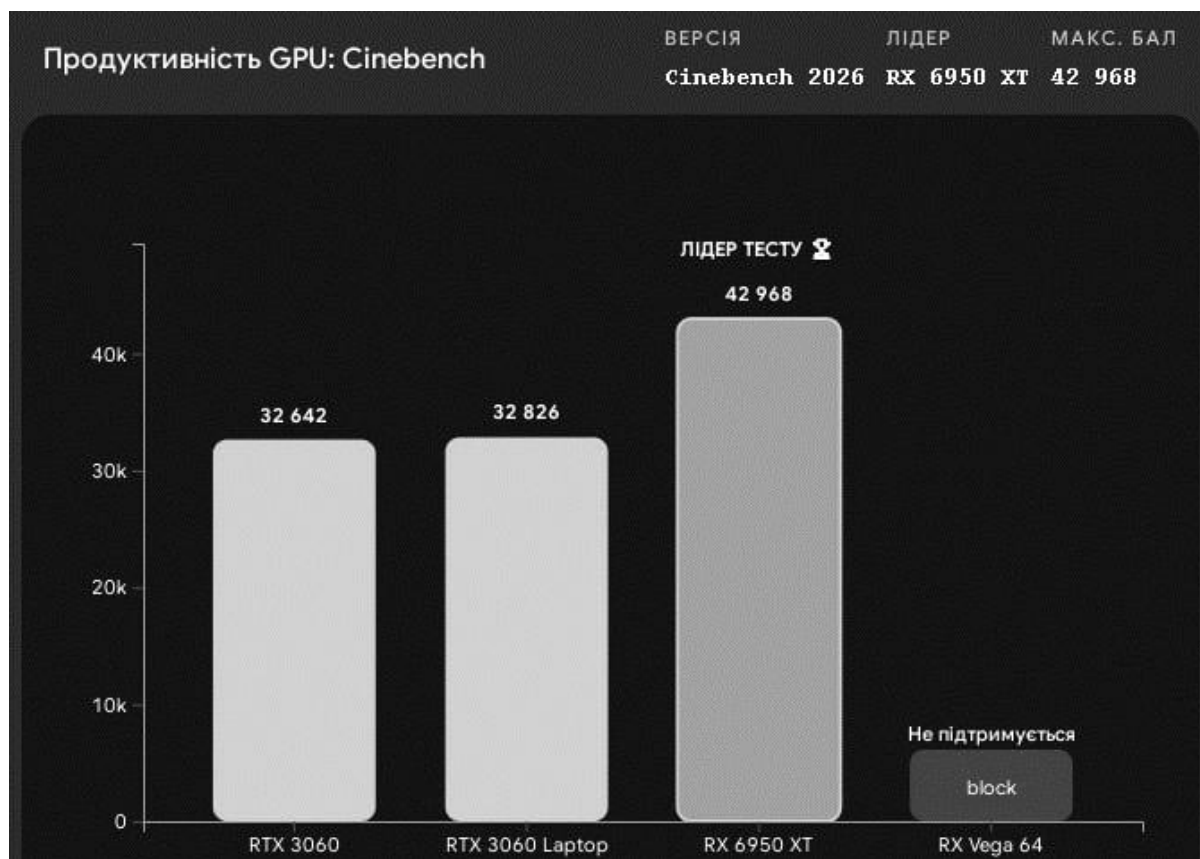


Рисунок 3 – Продуктивність GPU у Cinebench 2026

У Cinebench 2026 лідером стала AMD Radeon RX 6950 XT із результатом 42 968 балів. RTX 3060 та RTX 3060 Laptop продемонстрували близькі значення (~32 тис. балів), що свідчить про стабільність архітектури NVIDIA Ampere у різних форм-факторах, тоді як RX Vega 64 не підтримувала виконання тесту через обмеження сучасних графічних API та обчислювальних моделей.

Додатково проведено оцінювання продуктивності у задачах генеративного штучного інтелекту на базі Stable Diffusion у середовищі Fooocus. Основними метриками виступали швидкість генерації (iterations per second), час інференсу та стабільність використання відеопам'яті. Результати показали, що ключовими обмежувальними факторами є пропускна здатність пам'яті та ефективність тензорних обчислювальних блоків GPU.

Аналіз ігрових сценаріїв показав, що середній FPS не є достатнім показником продуктивності GPU, оскільки не відображає варіативність кадрів та мікростатери. Більш інформативними є метрики frame time, 1% low та 0.1% low, які дозволяють оцінити стабільність рендерингу та користувацький досвід у динамічних сценах.

Узагальнення результатів дослідження свідчить, що сучасні GPU функціонують як універсальні гетерогенні обчислювальні вузли, які інтегрують графічні, AI та RT-навантаження. Це наближає їх до концепції edge-обчислень, у яких критичними параметрами продуктивності є затримка виконання, пропускна здатність пам'яті та енергоефективність. У таких умовах традиційні синтетичні метрики не забезпечують повної оцінки реальної продуктивності системи.

Список використаних джерел

1. Кравченко О.В., Сидоренко І.М. Методи оцінювання продуктивності графічних процесорів у високопродуктивних обчислювальних системах. *Вісник ХНУ ім. Каразіна. Серія "Комп'ютерні науки"*. 2024.
2. Maxon. Cinebench 2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.maxon.net/> (дата звернення: 08.05.2026).
3. Hennessy J., Patterson D. *Computer Architecture: A Quantitative Approach*. 6th ed. – Morgan Kaufmann, 2019. 1040 p.
4. Stallings W. *Computer Organization and Architecture*. 11th ed. Pearson, 2021. 816 p.
5. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. *Real-Time Rendering*. 4th ed. CRC Press, 2018. 1198 p.
6. NVIDIA. DLSS Technology Overview. URL: <https://www.nvidia.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
7. Intel. PresentMon Performance Tool. URL: <https://www.intel.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
8. Pashchuk I., Dombrovsky M. Design and Application of Edge Computing Architecture for Real-Time Control in Smart Microgrids. *IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2025)*. 2025. P. 2770–2784.
9. Stability AI. Stable Diffusion Documentation. URL: <https://stability.ai/> (дата звернення: 08.05.2026).
10. AMD. FidelityFX Super Resolution. URL: <https://gpuopen.com/> (дата звернення: 08.05.2026).
11. Офіційний сайт програмних продуктів BAS. URL: <https://bas-soft.eu/> (дата звернення: 08.05.2026).
12. Kang P. Evaluation of GPU-Accelerated Edge Platforms for Stochastic Simulations and Energy Efficiency Analysis. *Mathematics*. 2025. Vol. 13(20).

УДК 004.9:636.09

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВЕТЕРИНАРНОЇ КЛІНІКИ

Старостюк Валерія Сергіївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
stvl0809@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяє активному впровадженню веб-орієнтованих рішень у діяльність підприємств та організацій різних сфер. Особливого значення такі системи набувають у сфері ветеринарної медицини, де оперативне надання достовірної та структурованої інформації є важливим чинником ефективної взаємодії між ветеринарною клінікою та власниками домашніх тварин. Наявність сучасного веб-ресурсу дає змогу забезпечити цілодобовий доступ до інформації про перелік послуг, графік роботи, склад спеціалістів, контактні дані та рекомендації щодо догляду за тваринами.

Ветеринарні клініки дедалі частіше використовують веб-ресурси як основний засіб інформування клієнтів та формування позитивного іміджу закладу. Разом із тим багато існуючих сайтів характеризуються неструктурованим поданням інформації, перевантаженим інтерфейсом, незручною навігацією та недостатньою адаптацією до мобільних пристроїв. Це ускладнює пошук необхідних відомостей і знижує загальну ефективність використання веб-ресурсу. У зв'язку з цим розробка веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки є актуальним завданням, спрямованим на підвищення якості інформаційного обслуговування клієнтів.

У процесі виконання роботи проведено аналіз предметної області ветеринарних послуг, визначено основні інформаційні потреби користувачів та досліджено існуючі веб-рішення у даній сфері. На основі отриманих результатів сформовано вимоги до системи, включаючи функціональні вимоги (відображення інформації про клініку, послуги, діагностику, прайс та контакти) та нефункціональні (зручність інтерфейсу, адаптивність, швидкодія та простота адміністрування).

Проектування веб-орієнтованих інформаційних систем передбачає використання модульної архітектури, структурованого зберігання даних та засобів автоматизації взаємодії користувачів із системою [1]. Важливим аспектом

розробки також є дотримання принципів UI/UX-дизайну, зокрема забезпечення зрозумілої навігації, логічної структури інтерфейсу та орієнтації на потреби користувача [2]. З урахуванням зазначених принципів у межах роботи розроблено веб-орієнтовану інформаційну систему ветеринарної клініки, призначену для надання користувачам структурованої інформації про послуги, лікарів, вартість послуг та контактні дані клініки.

Для реалізації функціональних можливостей системи було обрано клієнт-серверну архітектуру [3], у межах якої користувач взаємодіє з вебресурсом через браузер, а серверна частина забезпечує оброблення запитів, формування сторінок і доступ до бази даних. Такий підхід забезпечує централізоване зберігання інформації, спрощує оновлення контенту та підвищує надійність функціонування системи. Клієнт-серверну архітектуру системи наведено на рисунку 1, де відображено основні компоненти та взаємозв'язки між користувачем, вебсервером, системою керування контентом і базою даних.

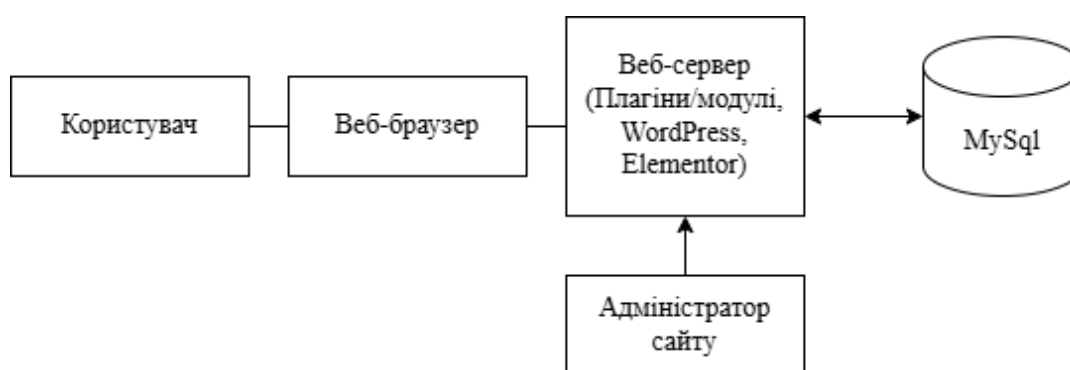


Рисунок 1 – Клієнт-серверна архітектура веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки

Практична реалізація веб-орієнтованої інформаційної системи здійснена на основі WordPress із використанням конструктора сторінок Elementor. Для зберігання структурованих даних використано систему керування базами даних MySQL. Використання WordPress обумовлене його широкими можливостями щодо управління контентом, наявністю великої кількості готових модулів та зручними засобами адміністрування. Elementor забезпечив створення адаптивного інтерфейсу без необхідності написання значного обсягу програмного коду.

Розроблена веб-орієнтована інформаційна система містить 28 інформаційних сторінок, які охоплюють основні розділи діяльності клініки: головну сторінку, інформацію про клініку, перелік послуг, діагностичні можливості, прайс-лист, контактну інформацію та додаткові матеріали для власників тварин.

На рисунку 2 зображено структуру веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки. Структура системи побудована таким чином, щоб забезпечити інтуїтивну навігацію та швидкий доступ до необхідної інформації.

Інтерфейс системи розроблено з урахуванням принципів адаптивного дизайну, що дозволяє коректно відображати контент на різних пристроях, включаючи смартфони, планшети та персональні комп'ютери. Особливу увагу приділено логічній структурі сторінок, читабельності контенту та зручності взаємодії користувача з системою.

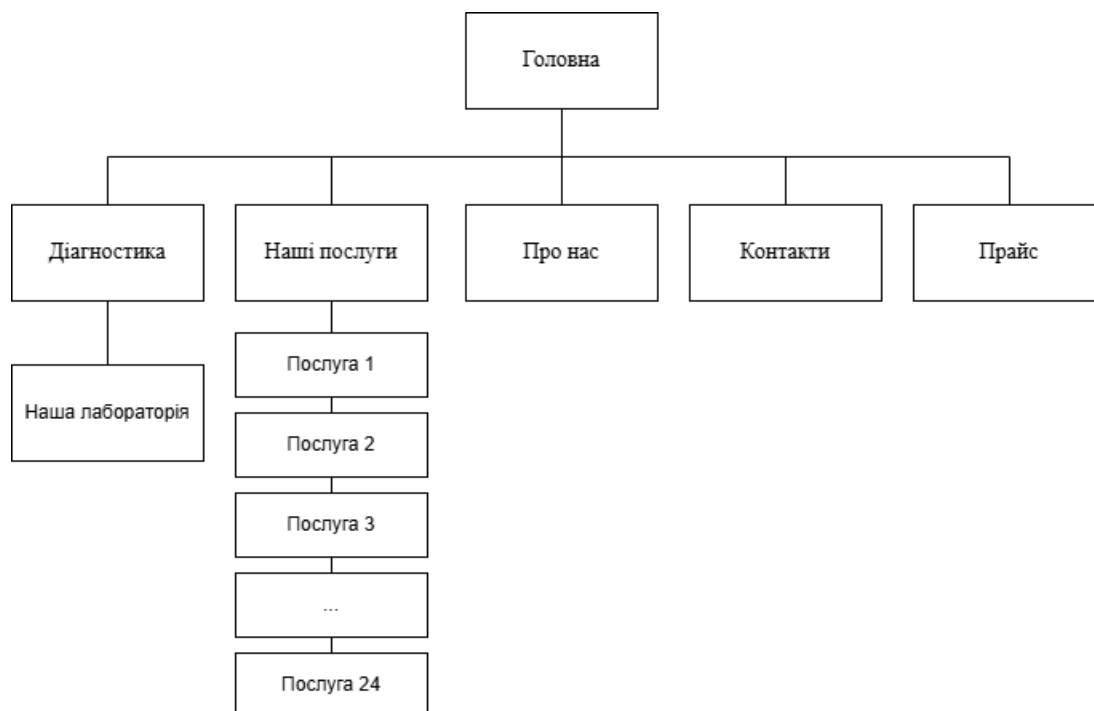


Рисунок 2 – Структура веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки

Приклад реалізованого інтерфейсу користувача сторінки веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Копія екрану сторінки веб-орієнтованої інформаційної системи ветеринарної клініки

Проведено тестування функціональних можливостей системи, включаючи перевірку навігації, коректності відображення сторінок, швидкодії та адаптивності інтерфейсу. Результати тестування підтвердили стабільну роботу системи та відповідність визначеним вимогам.

Результати роботи можуть бути використані на практиці у діяльності ветеринарної клініки. Розроблена веб-орієнтована інформаційна система є готовою до використання та може бути впроваджена в роботу реального закладу. Вона забезпечує зручний доступ клієнтів до необхідної інформації, покращує комунікацію з відвідувачами та сприяє формуванню сучасного іміджу клініки.

У майбутньому систему можна вдосконалити, додавши функцію онлайн-запису на прийом та особистий кабінет користувача.

Список використаних джерел

1. Гриценко В. І., Погребняк О. О. Проєктування інформаційних систем : навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ, 2019. 210 с.
2. Ключові UI-принципи для створення якісного дизайну вашого веб-продукту. Turumburum. 2024. URL: <https://turumburum.ua/blog/klyuchovi-ui-principi-dlya-stvorennya-yakisnogo-dizaynu-vashogo-veb-produktu>.
3. Client-server architecture. QATestLab Training. 2023. URL: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/client-server-architecture>.

УДК 004.5:614.2

ПРОЄКТУВАННЯ DASHBOARD-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Телька Микола Ігорович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
telkamikola@gmail.com
ORCID: 0009-0002-4293-7515
Західноукраїнський національний університет

Мимоход Ольга Богданівна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
olyanymokhod@gmail.com
Західноукраїнський національний університет

Федорук Марія Юріївна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
marysja.fedoruk@gmail.com
Тернопільський національний медичний університет
імені І.Я. Горбачевського

Моніторинг медичних показників є одним із ключових завдань управління закладами охорони здоров'я [1]. Відсутність зручних інструментів для візуалізації оперативних даних змушує керівників медичних установ витрачати значний час на збір та інтерпретацію розрізненої інформації. Впровадження сучасних dashboard-систем забезпечує консолідацію даних у єдиному інтерфейсі, прискорює прийняття управлінських рішень та знижує ризик їх помилковості внаслідок інформаційного дефіциту.

Мета дослідження – розробити та обґрунтувати архітектуру dashboard-системи для моніторингу медичних показників, що інтегрує аналітичні модулі на основі методів машинного навчання та відповідає вимогам користувацького інтерфейсу.

Аналіз вимог до системи базується на моделі управлінських процесів медичного закладу, які охоплюють оперативний, тактичний і стратегічний рівні. На оперативному рівні ключовими показниками є: рівень завантаженості ліжок (occ), кількість прийнятих (adm) і виписаних (dis) пацієнтів. На тактичному рівні відстежуються дохідність відділень (rev), рентабельність (margin) та задоволеність пацієнтів (sat). Стратегічний рівень охоплює динаміку КРІ за довільні часові горизонти.

Архітектура dashboard-системи реалізована як односторінковий веб-застосунок (SPA) на базі HTML5, CSS3 та JavaScript без залежності від важких фреймворків [2]. Серверна частина побудована на мікрофреймворку Flask 3.x [3] із REST API, що охоплює сім кінцевих точок API: /api/kpi, /api/trends,

/api/predict/<dept>, /api/clusters, /api/recommendations, /api/staff, /api/equipment. Для зберігання даних використовується SQLite, що виключає необхідність у зовнішньому сервері бази даних.

Головний екран системи (рисунок 1) містить п'ять KPI-карток із динамічними індикаторами відхилення відносно попереднього місяця: рівень завантаженості, кількість пацієнтів, дохід, задоволеність пацієнтів та показник рентабельності. Кольорове кодування показників є єдиним у всьому інтерфейсі: зелений відповідає нормальному стану, жовтий – помірному відхиленню, червоний – критичному стану. Нижче KPI-карток розміщено чотири діаграми: лінійний графік доходів і витрат за 90 днів, горизонтальна гістограма завантаженості відділень, стовпчаста діаграма прийнятих пацієнтів та графік задоволеності.



Рисунок 1 – Головний екран системи

Аналітичний модуль прогнозування [4] реалізований на алгоритмі Random Forest Regressor (100 дерев), що буде семиденний прогноз завантаженості для обраного відділення. Метрики якості моделі (MAE та R^2) відображаються безпосередньо в інтерфейсі, забезпечуючи прозорість прогнозу для особи, яка приймає рішення.

Екран управлінських рекомендацій формує картки відділень, відсортовані за пріоритетом. Кожна картка містить три метрики (завантаженість, задоволеність, рентабельність) та текстові рекомендації, прив'язані до конкретного KPI-показника, що перевищив порогове значення. Такий підхід забезпечує повну прозорість логіки рекомендацій без використання методів «чорної скриньки».

Перевагою розробленої dashboard-системи є повна відсутність хмарних залежностей: система розгортається локально за час до 5 хвилин, усі дані зберігаються виключно на сервері медичного закладу. Це відповідає вимогам

захисту медичних даних пацієнтів та забезпечує роботу в умовах обмеженого доступу до мережі Інтернет.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію з реальними джерелами даних медичних інформаційних систем (eHealth [5]), розширення горизонту прогнозування до 30 днів за рахунок застосування LSTM-мереж, а також додавання модуля порівняльного бенчмаркінгу між закладами охорони здоров'я.

Список використаних джерел

1. O. Telikhovskyi, R. Komarnytsky, V. Koval, K. Lipianina-Honcharenko, V. Dorosh, M. Telka. Intelligent advisory innovative framework of enhanced doctor-patient interaction for healthcare providers. *7th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (IDDM'24)*. (Birmingham, UK, November 14–16, 2024). CEUR Workshop Proceedings, 2024.
2. Murray C. J., Frenk J. A framework for assessing the performance of health systems. *Bulletin of the World Health Organization*. 2000. Vol. 78, No. 6. P. 717–731.
3. Grinberg M. *Flask Web Development*. O'Reilly Media, 2018. 316 p.
4. Obermeyer Z., Emanuel E. J. Predicting the future — big data, machine learning, and clinical medicine. *The New England Journal of Medicine*. 2016. Vol. 375, No. 13. P. 1216–1219.
5. Електронна система охорони здоров'я eHealth / Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://ehealth.gov.ua/>

УДК 004.738.5:658.8

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАМОВЛЕНЬ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

Федіков Віктор Олександрович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
fedikov1234@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Цифровізація підприємств малого та середнього бізнесу є необхідною умовою підтримки їхньої конкурентоспроможності [1]. У сфері виробництва крафтової продукції, зокрема кондитерської, традиційні методи прийому замовлень та ведення обліку асортименту характеризуються низькою ефективністю. Ручна обробка даних підвищує ймовірність помилок, уповільнює комунікацію з клієнтами та ускладнює подальше масштабування бізнес-процесів.

Впровадження веб-орієнтованих інформаційних систем дозволяє автоматизувати рутинні операції. Це забезпечує прозорість процесів ціноутворення та формування замовлень, а також надає адміністраторам інструменти для моніторингу етапів виконання робіт, формування звітності та контролю запасів. Отже, розробка інформаційної системи для замовлення кондитерських виробів є актуальним задачею.

Проблематика проектування інформаційних систем у сфері електронної комерції та автоматизації бізнес-процесів розглядається у працях багатьох вітчизняних і закордонних дослідників [2]. Основна увага приділяється використанню багаторівневої архітектури, що забезпечує масштабованість та належний рівень інформаційної безпеки. Значна частина досліджень фокусується на оптимізації користувацьких інтерфейсів для підвищення загальної ефективності систем.

Водночас аналіз існуючих універсальних платформ показує їхню надлишковість за функціоналом або, навпаки, високу вартість адаптації під вузькопрофільні завдання. Це зумовлює необхідність проектування веб-орієнтованої інформаційної системи, архітектура якої відповідатиме конкретній предметній області без залучення зайвих програмних модулів.

Розробка веб-орієнтованої інформаційної системи базується на клієнт-серверній архітектурі, що забезпечує чіткий розподіл функцій між представленням даних та їх обробкою. Архітектура системи складається з трьох

основних рівнів (рисунок 1): клієнтського, серверного та рівня зберігання даних. Такий підхід гарантує високу продуктивність, масштабованість та безпеку функціонування програмного продукту.

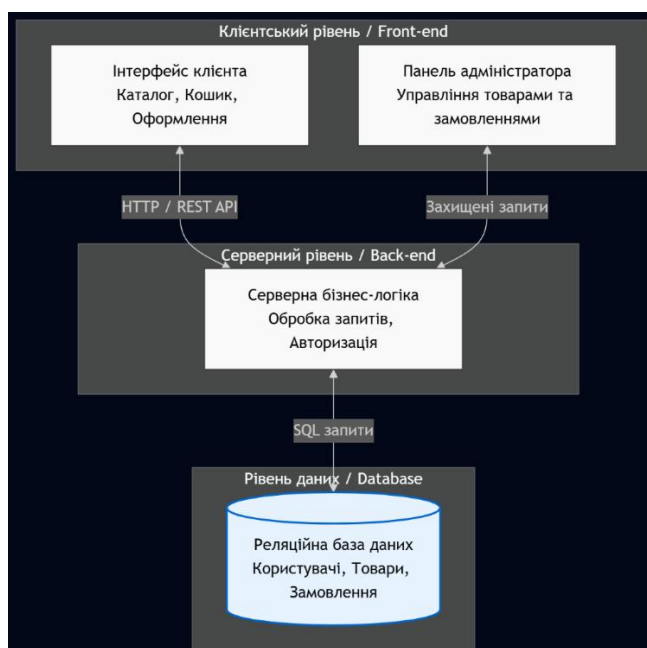


Рисунок 1 – Архітектура розробленої веб-орієнтованої інформаційної системи

Основою інформаційної інфраструктури розробленої системи є реляційна база даних [3]. Під час проектування логічної моделі даних було виділено ключові сутності, необхідні для повноцінного функціонування підприємства: «Користувачі» для збереження авторизаційних та контактних даних клієнтів і персоналу, «Товари» для представлення каталогу кондитерських виробів із зазначенням базової вартості, опису та доступних варіацій, «Категорії» для структурування асортименту, «Замовлення» для фіксації поточного статусу, загальної вартості та дати виконання, а також «Деталі замовлення», яка виступає зв'язуючою сутністю та фіксує обрані товари, їхню кількість і специфічні параметри, зокрема вагу чи тип начинки. Між таблицями встановлено зв'язки типу «один до багатьох» та «багато до багатьох» із забезпеченням каскадного оновлення та цілісності даних за допомогою зовнішніх ключів (рисунок 2).

Клієнтська частина системи реалізована у вигляді адаптивного веб-інтерфейсу, що забезпечує коректне відображення на різних типах пристроїв. Основний функціонал для кінцевого споживача включає перегляд структурованого каталогу продукції, можливість додавання товарів до віртуального кошика та покрокове оформлення замовлення. Процес оформлення оптимізовано шляхом мінімізації кількості обов'язкових полів: клієнт вказує контактні дані, обирає дату доставки або самовивозу, а також має змогу залишити текстові вимоги до дизайну кондитерського виробу. Усі введені дані проходять валідацію на стороні клієнта перед відправкою на сервер, що знижує загальне навантаження на систему.

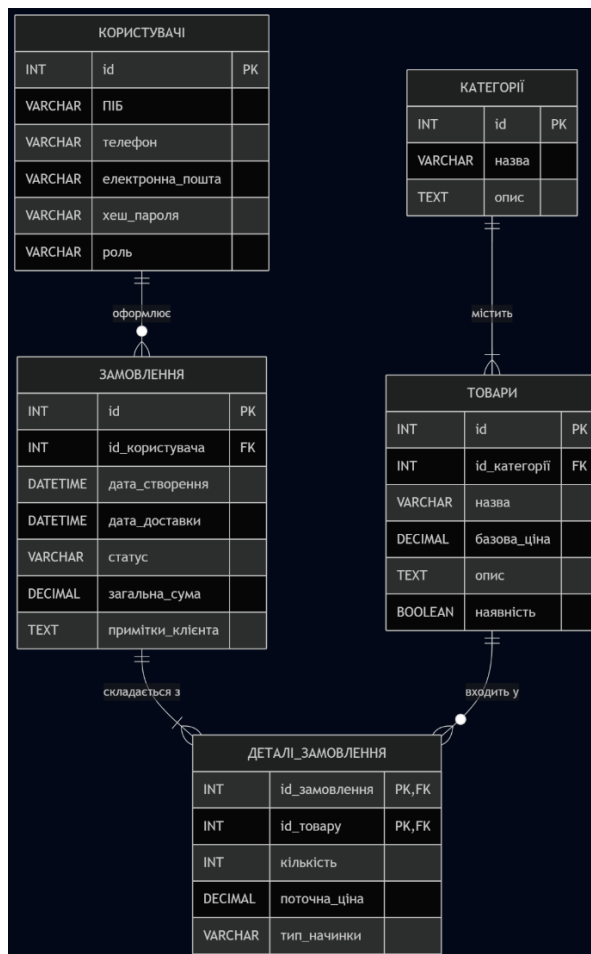


Рисунок 2 – Логічна модель реляційної бази даних розробленої системи

Серверна частина відповідає за обробку бізнес-логіки, взаємодію з базою даних та автентифікацію. Персонал з відповідними правами виконуватиме базові операції над асортиментом товарів: додавати нові позиції, актуалізувати ціни, завантажувати медіафайли та редагувати описи.

Застосування сучасних алгоритмів хешування паролів та механізмів захисту від поширених вразливостей, зокрема SQL-ін'єкцій, забезпечує високий рівень конфіденційності даних клієнтів та стабільність роботи інформаційної системи.

Висновки. Реалізовано веб-орієнтовану інформаційну систему замовлень кондитерських виробів. Запропоновані архітектурні рішення є гнучкими і можуть слугувати базою для подальшого масштабування функціоналу системи.

Список використаних джерел

1. Laudon K. C., Traver C. G. E-commerce:business, technology, society. 16th ed. Harlow:Pearson, 2021. 912 p.
2. Берко А. Ю., Верес О. М. Проектування інформаційних систем:навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 490 с.
3. Трофименко О. Г., Прокоп Ю. В., Логінова Н. І., Копитчук І. М. Організація баз даних:навч. посібник. 2-ге вид. виправ. і доповн. Одеса:Фенікс, 2019. 246 с.

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ІНТЕРВАЛЬНОГО ЗАПАМ'ЯТОВУВАННЯ

Хархаліс Валерія Юріївна,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
kharkhalis.valeriia@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрової освіти та безперервного навчання (навчання протягом усього життя) особливої актуальності набуває впровадження веб-застосунків, що забезпечують оптимізацію засвоєння великих обсягів інформації. Одним із найефективніших методів є інтервальне запам'ятовування (англ. spaced repetition) [1], реалізація якого потребує розробки спеціалізованих діалогових комп'ютерних систем та складного маніпулювання даними.

У сучасних дослідженнях широко розглядають питання автоматизації процесів навчання, використання адаптивних алгоритмів та побудови освітніх веб-платформ. У праці [2] автори досліджують алгоритми оптимізації інтервалів повторення, зазначаючи, що адаптивне маніпулювання даними на основі кривої забування Еббінгауза дозволяє значно скоротити час на вивчення матеріалу та підвищити відсоток його утримання в пам'яті.

У [3] аналізуються архітектурні аспекти розробки інтерактивних веб-застосунків для освітніх цілей. Дослідники наголошують на тому, що зручний інтерфейс та гнучка серверна логіка є критичними факторами для забезпечення безперервного навчального процесу. Надійна база даних дозволяє зберігати інформацію про прогрес, а діалогова складова системи забезпечує постійний зворотний зв'язок з користувачем.

Окрему увагу цифровізації методів запам'ятовування приділено у [4]. Автори звертають увагу на те, що використання веб-технологій для створення електронних флеш-карток сприяє персоналізації навчання.

Основними структурними компонентами у таких застосунках виступають картки: картка є одиницею інформації, що може мати різні формати, як от запитання-відповідь, двосторонні, з пропуском, з аудіо/відео, тоді як колода виступає як впорядкована сукупність або тематичний набір цих карток для систематизації навчального матеріалу. Отримані дані про швидкість та правильність відповідей користувача під час взаємодії з картами виступають

основою для розрахунку наступної дати показу картки, що є базовим принципом побудови діалогових систем спеціального використання.

На основі проведеного аналізу джерел можна зробити висновок, що сучасний веб-застосунок для інтервального запам'ятовування повинен забезпечувати безперебійне маніпулювання масивами даних (створення, редагування карток та їх організацію у колоди), точний прорахунок інтервалів повторення та зручну взаємодію з користувачем через браузер.

Розроблений веб-застосунок має клієнт-серверну архітектуру (рисунок 1). Для забезпечення модульності, масштабованості та чіткого розділення відповідальності в архітектурі розроблюваного застосунку використано архітектурний шаблон Модель-Вигляд-Контролер (англ. Model-View-Controller). Основними елементами системи є: модуль реєстрації та авторизації, модуль управління наборами карток, алгоритмічний модуль розрахунку інтервалів (на базі алгоритмів сімейства SuperMemo-2) та модуль збору статистики.

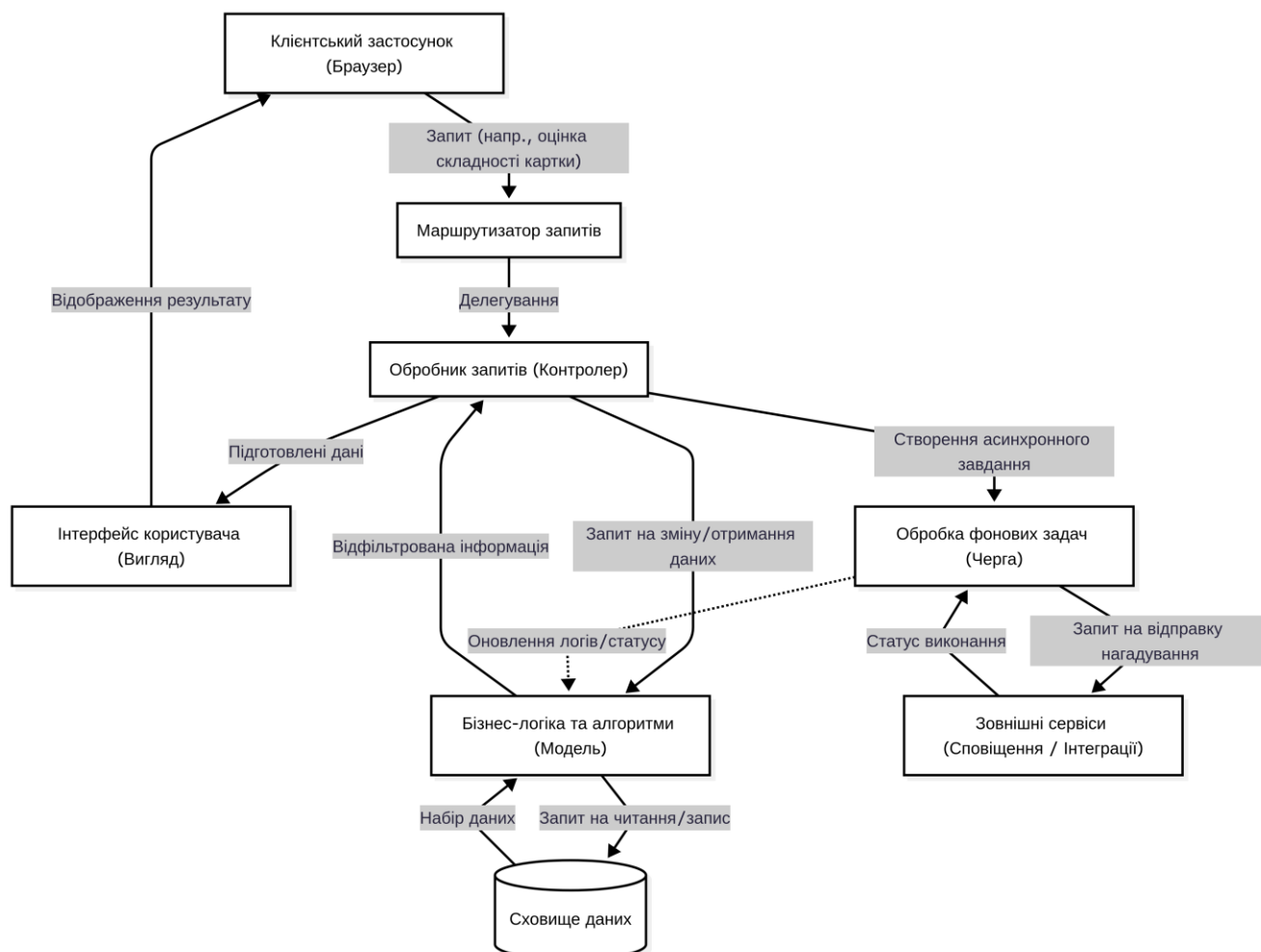


Рисунок 1 – Архітектура веб-застосунку з шаблоном проектування Model-View-Controller

Взаємодія в системі відбувається наступним чином: користувач тестує свої знання за допомогою флеш-картки і самостійно оцінює складність пригадування. На основі цієї оцінки застосунок виконує маніпулювання даними, динамічно обчислюючи коефіцієнт легкості та призначаючи нову дату показу. Завдяки цьому підходу інформацію можна структурувати індивідуально для кожного користувача, уникаючи неефективного дублювання вже засвоєного матеріалу.

Під час розробки застосунку основна увага приділялася швидкості роботи, зручності діалогового інтерфейсу та можливості подальшого розширення. Простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє користувачам легко фокусуватися безпосередньо на процесі навчання, не відволікаючись на складні налаштування.

У застосунку також реалізовано розмежування прав доступу. Звичайні користувачі (здобувачі освіти) мають можливість створювати власні набори карток, імпортувати дані та відстежувати особистий прогрес. Адміністратор системи отримує доступ до управління обліковими записами, моніторингу загального навантаження на базу даних та технічної підтримки платформи.

Таким чином, розроблений веб-застосунок є ефективним сучасним інструментом для організації самостійного навчання, що повністю відповідає вимогам до діалогових комп'ютерних систем спеціального використання. Завдяки гнучкій структурі маніпулювання даними, його можна легко розширювати у майбутньому, додаючи функції спільного використання наборів карток, гейміфікацію процесу та інтеграцію з мобільними платформами.

Список використаних джерел

1. Kang S. H. K. Spaced Repetition Promotes Efficient and Effective Learning: Policy Implications for Instruction. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*. 2016. Vol. 3, No. 1. P. 12–19. DOI: 10.1177/2372732215624708.
2. Tabibian, B., Upadhyay, U., De, A., Zarezade, A., Schölkopf, B., & Gomez-Rodriguez, M. Enhancing human learning via spaced repetition optimization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116(10), 3988-3993.
3. Кухар Л. О. Архітектура та етапи розробки веб-орієнтованих систем дистанційного навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Т. 65, № 3. С. 132–145.
4. Settles B., Meeder B. A trainable spaced repetition model for language learning. *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Berlin, 2016. P. 1848–1858.

УДК 004.738.5:004.6

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОСОБИСТИХ ФІНАНСІВ

Шабатько Артур Вадимович,
здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
shabatkoartur@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

Сучасний темп життя та стрімкий розвиток фінансових технологій зумовлюють гостру необхідність у створенні автоматизованих інструментів для управління особистим капіталом. Дослідження у сфері поведінкової економіки та персональних фінансів свідчать, що ефективність стратегічного планування бюджету безпосередньо залежить від мінімізації когнітивного навантаження на користувача [1]. Більшість наявних програмних рішень на ринку вимагають систематичного ручного введення інформації про транзакції [2], що суттєво знижує точність фінансової аналітики через людський чинник, послаблює рівень залученості та спотворює кінцеві статистичні показники [3]. У зв'язку з цим актуальною є розробка веб-застосунку, призначеного для інтеграції, автоматизованого оброблення та візуального аналізу фінансових даних користувача. Такий підхід дає змогу підвищити інформативність аналізу особистих фінансів, зменшити трудомісткість оброблення фінансової інформації та забезпечити підтримку процесів прогнозування й прийняття рішень.

Внутрішня серверна частина розробленого програмного комплексу спроектована та реалізована об'єктно-орієнтованою мовою програмування PHP на базі сучасного каркаса Laravel із суворим дотриманням класичного архітектурного шаблону «Модель-Вигляд-Контролер». Цей шаблон передбачає глибоке розділення системних обов'язків, де кожен компонент ізольований від інших: Модель відповідає за роботу з даними та бізнес-логіку, Вигляд – за представлення графічного інтерфейсу, а Контролер – за координацію потоків керування [4, 5]. Застосування інженерного принципу проектування «товстих» моделей та «тонких» контролерів (Fat Models, Skinny Controllers) [6] дозволило повністю інкапсулювати правила обробки капіталу всередині об'єктно-реляційного шару. Контролери у такій системі звільнені від виконання громіздких математичних обчислень чи прямих маніпуляцій з базою даних, що забезпечує високу модульність програмного коду, спрощує його підтримку та підвищує покриття модульним тестуванням [7].

Для розв'язання актуальної проблеми ручного введення транзакцій та автоматизації збору відомостей веб-застосунків інтегровано з прикладним програмним інтерфейсом спеціалізованого сервісу SaltEdge, що функціонує на базі європейських стандартів технології відкритого банкінгу [8]. Це інженерне рішення дозволило впровадити стійкий механізм асинхронної фонові синхронізації банківських рахунків клієнта. Запуск процесів імпорту даних делегується системним чергам завдань, завдяки чому тривалі мережеві операції взаємодії із банківськими серверами не блокують основний потік виконання веб-застосунку та не погіршують швидкість відгуку інтерфейсу. З метою реалізації мультивалютної аналітики розроблено математичний алгоритм динамічного зведення транзакцій до єдиної базової валюти (зокрема, до долара США) [9]. Для оптимізації кількості мережевих запитів та усунення поширеної проблеми надлишкового дублювання запитів (N+1) під час масового оброблення банківських виписок, поточні курси обміну отримуються через сторонній прикладний програмний інтерфейс лише один раз за визначений проміжок часу, після чого фіксуються за допомогою механізмів тимчасового кешування даних в оперативній пам'яті сервера.

У підсистемі взаємодії з базою даних реалізовано технологію локальних областей видимості (Local Scopes), яка дозволяє гнучко та динамічно конструювати структуровані запити до реляційної бази даних залежно від вхідних параметрів клієнта. Завдяки цьому фільтрування потоку витрат за категоріями чи довільними часовими проміжками відбувається безпосередньо на рівні СКБД (Система керування базами даних), що мінімізує обсяг використання оперативної пам'яті сервера та дозволяє веб-застосунку миттєво реагувати на дії користувача. Додатково застосовано механізм внутрішніх подій моделей, який автоматично перераховує та записує еквівалент суми в базовій валюті безпосередньо в момент створення нового фінансового запису, гарантуючи цілісність аналітичного масиву даних.

Клієнтська частина інтерфейсу та безпосередня візуалізація обчислених фінансових показників реалізована за допомогою спеціалізованої графічної бібліотеки Chart.js, яка використовує апаратні можливості елемента двовимірного рендерингу HTML5 Canvas на стороні веб-браузера [5]. На основі отриманих від сервера структурованих масивів інтерактивна аналітична панель відображає три ключові фінансові метрики:

- структуру розподілу витрат за категоріями (Doughnut Chart);
- щоденну динаміку та швидкість використання коштів (Daily Spend Trend) у вигляді стовпчикової діаграми (Bar Chart) із розрахунком середньоденних витрат;
- рівень заощаджень (Savings Rate) у вигляді радіального індикатора, що розраховується як відсоткове співвідношення між чистим прибутком та загальним доходом користувача.

На рисунку 1 зображено архітектуру розробленого веб-застосунку для аналізу особистих фінансів. Представлена схема детально демонструє взаємодію компонентів під час повного життєвого циклу обробки інформації, починаючи

від дій користувача і закінчуючи рівнем збереження даних. Стрілками на схемі позначено напрямки передачі керування та структуру інформаційних потоків між клієнтським та серверним середовищами. На початковому етапі взаємодії клієнт (браузер) ініціює дію, яка у формі стандартизованого HTTP-запиту передається через мережу на сервер та потрапляє до маршрутизатора. маршрутизатор аналізує URL-адресу, проводить запит через шари валідації та передає виклик до контролерів, які виконують роль центрального оркестратора системи.

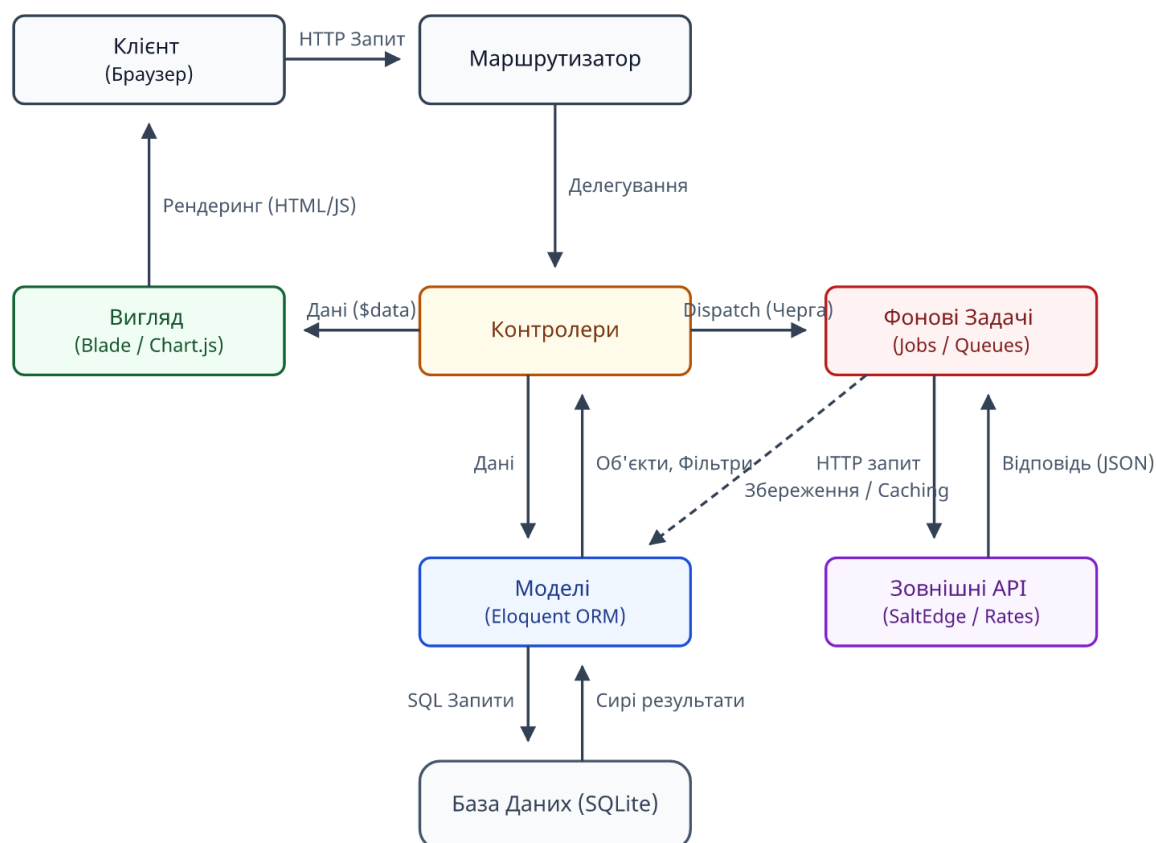


Рисунок 1 – Архітектура веб-застосунку

Як проілюстровано на рисунку 1, контролери розподіляють логіку виконання за двома паралельними напрямками залежно від типу запиту. У випадку необхідності оновлення даних, контролер за допомогою методу диспетчеризації відправляє асинхронну команду в чергу фонових задач. Ці фонові процеси у закритому режимі взаємодіють із зовнішніми прикладними програмними інтерфейсами (платформою відкритого банкінгу SaltEdge та сервісом курсів обміну валют), надсилаючи запити та отримуючи назад структуровані відповіді у форматі JSON. Отримані фінансові масиви проходять етап тимчасового кешування (Caching) та передаються на рівень моделей для остаточного збереження. Моделі, використовуючи інструменти об'єктно-реляційного відображення Eloquent ORM, транслюють об'єктні сутності у сирі SQL-запити, взаємодіючи в двосторонньому порядку з реляційною базою даних

для вибірки або фіксації інформації. На завершальному етапі життєвого циклу оброблені й агреговані моделями колекції даних повертаються до контролера, який трансформує їх за допомогою вбудованих директив фреймворку у формат JSON та передає в компонент вигляду (Blade). Компонент вигляду інтегрує ці дані в об'єктну модель документа (DOM) та ініціює клієнтські JavaScript-скрипти бібліотеки Chart.js, що здійснюють фінальний рендеринг інтерактивних графіків на Canvas і повертають користувачеві повністю оновлене візуальне представлення фінансового стану.

У результаті проведеної роботи реалізовано та успішно реалізовано веб-застосунок для аналізу та візуалізації особистих фінансів. Завдяки інтеграції з прикладними програмними інтерфейсами відкритого банкінгу вдалося автоматизувати процес агрегації транзакцій, що вирішує проблему ручного введення транзакцій та мінімізує спотворення статистики через людський чинник.

Список використаних джерел

1. FinTech and Consumer Financial Outcomes: Evidence from Personal Finance Management Apps. *The Review of Financial Studies*. 2019. Vol. 32, No. 5. P. 1668-1701.
2. Epstein D. A., Ping A., Fogarty J., Munson S. A. A lived informatics model of personal informatics. *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp)*. 2015. P. 731-742.
3. Thaler R. H. Nudge, not sludge. *Science*. 2018. Vol. 361, Issue 6401. P. 431.
4. PHP: Hypertext Preprocessor. Official Documentation. The PHP Group. URL: <https://www.php.net/manual/en/>
5. Laravel Documentation. Laravel – The PHP Framework For Web Artisans. URL: <https://laravel.com/docs>
6. Stauffer M. *Laravel: Up & Running: A Framework for Building Modern PHP Apps*. 2nd ed. O'Reilly Media, 2019. 540 p.
7. Stauffer M. *Laravel: Up & Running: A Framework for Building Modern PHP Apps*. 2nd ed. O'Reilly Media, 2019. 540 p.
8. Salt Edge API Reference. Open Banking Gateway. Salt Edge Inc. URL: <https://docs.saltedge.com>
9. ExchangeRate-API Documentation. Free & Open Exchange Rate API. URL: <https://www.exchangerate-api.com/docs>

СЕКЦІЯ
СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В
ЕКОНОМІЦІ, ПРАВІ ТА ОСВІТІ / MODERN
INFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMICS,
LAW, AND EDUCATION

UDC 330.322: 005.52:004

QUALIMETRIC MODEL OF DIGITAL EVALUATION OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF ECONOMIC RECOVERY PROJECTS IN UKRAINE

Ivan Tsegelnyy, PhD student,
i.tsehelnii@st.wunu.edu.ua

Scientific supervisor: Nataliia Dziubanovska,
D.Sc. in Economics, Professor, Acting Head
of the Department of Information and
Computing Systems and Control,
West Ukrainian National University,
n.dziubanovska@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8441-5216

Ukraine's economic recovery under wartime and post-war transformation requires substantial investment resources, the effective attraction of which depends not only on the availability of financial mechanisms but also on the quality of analytical tools for evaluating project investment attractiveness. In the context of digital economic transformation, traditional approaches to assessing investment activity are undergoing significant changes, as investment decision-making is increasingly shaped by digital determinants, information transparency, and the adaptability of analytical systems [1, 2]. Digitalization creates new opportunities to enhance investment attractiveness by reducing transaction costs, improving access to information, increasing market transparency, and strengthening investor confidence [2, 3]. At the same time, economic recovery projects in Ukraine require the application of multicriteria evaluation models capable of considering not only financial efficiency, but also financial efficiency, risk resilience, strategic impact, ESG characteristics, digital readiness, and institutional capacity [4, 5].

In the scientific literature, investment attractiveness assessment is examined from the perspectives of financial-economic analysis, risk-oriented approaches, systemic evaluation, and digital transformation of investment processes. In particular, Sukhovieiev O. [1] substantiates the relevance of applying a systemic approach to assessing investment activity under digitalization, emphasizing the need to account for digital determinants, institutional changes, and transformations in managerial decision-making logic. Yemets V. et al. [4] propose a multilevel monitoring model for regional investment attractiveness in the context of post-war recovery using expert evaluation and modern information technologies. At the same time, Malykhin M. et al. [5] justify a multicriteria approach to selecting reconstruction investment projects through the integration of technical, economic, and organizational information, while Rozumovych N. [3] demonstrates the significant impact of digital infrastructure development on investment attractiveness through increased transparency,

adaptability, and improved management decision quality. Despite the substantial scientific contribution in this area, approaches to comprehensive digital evaluation of the investment attractiveness of Ukraine's economic recovery projects remain insufficiently developed, particularly those capable of integrating financial, risk-related, strategic, ESG, institutional, and digital criteria within a unified formalized model.

The aim of this study is to develop a qualimetric model for the digital evaluation of the investment attractiveness of Ukraine's economic recovery projects, providing a comprehensive multicriteria assessment framework to support informed investment decision-making under conditions of high uncertainty.

To achieve this objective, a qualimetric approach is proposed, allowing the evaluation process to be formalized through the integration of quantitative and qualitative project characteristics into a unified integrated indicator. The relevance of this approach is determined by the need to simultaneously consider heterogeneous parameters influencing the investment attractiveness of recovery projects, including economic efficiency, risk resilience, strategic significance, digital readiness, and institutional capacity.

The proposed model is oriented toward the use of digital analytical tools that ensure automation of data collection, processing, monitoring, and visualization, thereby increasing transparency in the evaluation process and reducing subjectivity in determining investment priorities.

Within the proposed qualimetric model, the investment attractiveness of recovery projects is assessed through a system of integrated criteria synthesized from investment analysis, systemic evaluation, risk-oriented management, and digital transformation approaches [1–6]. The model includes six key criteria.

Financial efficiency reflects the economic feasibility of project implementation and the effectiveness of investment resource utilization, corresponding to classical approaches to investment decision-making and multicriteria investment project evaluation [5, 6]. Risk resilience reflects project sensitivity to wartime, regulatory, operational, and institutional risks, which are particularly critical for post-war recovery projects [4, 6]. Strategic recovery impact determines the significance of a project for critical infrastructure restoration, economic growth, and social stability [4].

ESG characteristics account for the environmental, social, and governance impact of a project as an important component of contemporary investment analysis [6]. Digital readiness reflects the level of digital integration, data transparency, digital monitoring capability, and analytical support of the project [1–3]. Institutional readiness determines the level of organizational, legal, and managerial preparedness of a project for implementation [1, 4, 6].

The proposed set of criteria ensures a comprehensive evaluation framework by combining classical investment efficiency parameters with digital and institutional characteristics that are critically important for Ukraine's economic recovery projects.

The quantitative evaluation of the investment attractiveness of recovery projects is proposed to be carried out using an integrated qualimetric indicator, developed in

accordance with multicriteria decision-making approaches for supporting investment decisions [7]:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

where Q – integrated investment attractiveness score;

q_i – normalized criterion value;

n – number of evaluation criteria.

In this model, Q represents the integrated investment attractiveness score, while normalized criterion values allow the comparison of heterogeneous qualitative and quantitative indicators within a unified analytical framework. The value of Q ranges from 0 to 1: the closer Q is to 1, the higher the overall investment attractiveness of the project; conversely, values closer to 0 indicate a lower level of investment attractiveness.

At the pilot stage, equal weighting is applied to demonstrate the operational logic of the model without introducing additional subjectivity related to weight calibration.

This approach makes it possible to formalize the investment evaluation process, reduce subjectivity in decision-making, and support digital prioritization of economic recovery projects.

To demonstrate the operational logic of the model, a five-level scoring scale is proposed for transforming qualitative project characteristics into normalized quantitative values (Table 1).

Table 1 – Scoring Scale for Pilot Evaluation

Score	Interpretation
0.2	Very Low
0.4	Low
0.6	Moderate
0.8	High
1.0	Very High

This scale enables the comparison of heterogeneous project parameters within a unified evaluation framework.

The pilot application of the model was conducted using two recovery projects: the Mykolaiv Water Supply Restoration Project and the Western Border Infrastructure Modernization Project (Table 2).

Table 2 – Comparative Illustrative Evaluation Results

Criterion	Mykolaiv Project	Border Project
Financial efficiency	0.6	0.8
Risk resilience	0.4	0.8
Strategic recovery impact	1.0	0.8
ESG characteristics	1.0	0.6
Digital readiness	0.6	0.8
Institutional readiness	0.8	0.8
Integrated score Q	0.73	0.77

For the Mykolaiv Water Supply Restoration Project, the integrated score equals $Q = 0.73$, corresponding to a moderately high level of investment attractiveness. For the Western Border Infrastructure Modernization Project, $Q = 0.77$, indicating a slightly stronger investment profile due to higher financial efficiency, lower risk exposure, and higher digital readiness.

Although these values are illustrative, the comparative results demonstrate that the proposed qualimetric framework can differentiate between recovery projects with distinct investment profiles and support structured investment prioritization.

Thus, the proposed model provides a comprehensive framework for the digital evaluation of investment attractiveness of economic recovery projects in Ukraine. It integrates six complementary dimensions – financial, risk-related, strategic, ESG, digital, and institutional – enabling a more balanced assessment of recovery projects.

The practical relevance of the model lies in improving transparency, reducing subjectivity, and strengthening analytical support for investment decision-making in the context of Ukraine's economic recovery. Future research should focus on refining the methodology through expert-based weighting and exploring its integration into digital investment decision-support platforms.

References

1. Sukhovieiev, O. (2025). Systemic approaches to assessing investment activity in the context of digitalization. *Ekonomika ta suspilstvo*, 74. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-133>
2. Kiriienko, S. O. (2025). Digital transformation as a factor in increasing Ukraine's investment attractiveness in the context of EU countries' experience. *Biznes Inform*, 4, 160–168. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-4-160-168>
3. Rozumovych, N. (2026). Assessment of the impact of digital infrastructure development on investment attractiveness. *Naukovi zapysky Lvivskoho universytetu biznesu ta prava*, 48, 167–174.
4. Yemets, V. V., Kaplin, S. M., & Sinkovskiy, M. I. (2025). Formation of an effective system for monitoring regional investment attractiveness for post-war recovery purposes. *Akademichni vizii*, 46. <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/2131>
5. Malykhin, M., Kuzmin, T., & Hyria, V. (2025). Methodological principles for the analysis and selection of reconstruction investment projects considering their technical condition. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva*, 55(3), 327–340. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(3\).327-340](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(3).327-340)
6. Kiriienko, S. O. (2026). Formation of strategies for adapting the investment policy of TNCs in the context of global digitalization. *Aktualni pytannia ekonomichnykh nauk*, 19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18284596>
7. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ФІНАНСАМИ

Гурняк Сніжана Степанівна, студентка,
snizhanahurniak@gmail.com

Науковий керівник: Биковий Павло Євгенович,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет,
pb@wunu.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-5705-5702

У роботі представлено результати проектування та реалізації веб-застосунку для керування персональними фінансами. Розглянуто архітектуру системи, алгоритми обробки фінансових транзакцій, механізми бюджетного планування та засоби забезпечення безпеки даних. Особливу увагу приділено інтеграції аналітичних модулів для моніторингу фінансового стану користувача та візуалізації статистичних показників.

Цифровізація фінансового сектору суттєво змінила підходи до управління персональними коштами. Використання кількох банківських рахунків, електронних платіжних сервісів та цифрових гаманців призводить до фрагментації фінансової інформації та ускладнює оперативний контроль витрат і доходів. Традиційні методи ведення обліку, зокрема електронні таблиці або ручна фіксація транзакцій, не забезпечують достатнього рівня автоматизації, аналітичної гнучкості та інтегрованого представлення фінансового стану користувача [1-3].

Сучасні системи Personal Finance Management (PFM) дозволяють автоматизувати процеси фінансового моніторингу, однак значна частина наявних рішень характеризується закритою архітектурою, обмеженим функціоналом безкоштовних версій або високою складністю інтерфейсу. Це знижує доступність таких платформ для широкого кола користувачів та обмежує можливість персоналізованого аналізу фінансової активності [4].

Метою дослідження є розробка веб-застосунку для управління персональними фінансами, який поєднує адаптивний інтерфейс, ефективні механізми збереження даних та алгоритмічні засоби аналізу фінансових операцій. Особливістю запропонованого рішення є поєднання механізмів бюджетного планування, інтерактивної фінансової аналітики та модулів моніторингу фінансових цілей у межах єдиного веб-орієнтованого середовища.

Архітектура системи реалізована за принципом багаторівневої моделі та включає клієнтський інтерфейс, серверну частину та реляційну базу даних. Такий підхід забезпечує масштабованість системи, спрощує інтеграцію

додаткових функціональних модулів та підвищує надійність роботи програмного забезпечення [5].

Серверна логіка реалізована мовою Python, що дозволяє ефективно обробляти фінансові транзакції, виконувати перевірку коректності даних та формувати статистичні показники в реальному часі. Для збереження інформації використано систему керування базами даних PostgreSQL, яка підтримує принципи ACID та забезпечує цілісність фінансових записів [4, 6].

Розроблена система забезпечує ведення обліку доходів і витрат користувача, підтримує категоризацію фінансових операцій та дозволяє працювати з декількома рахунками одночасно. Функціональність застосунку передбачає встановлення бюджетних лімітів для окремих категорій витрат, моніторинг фінансових цілей користувача, а також автоматичне формування статистичних звітів і графічної аналітики для оцінювання фінансового стану.

Алгоритм додавання транзакцій передбачає перевірку валідності введених даних, фіксацію запису в базі даних та автоматичне оновлення фінансової статистики. Після успішного виконання операції система перераховує поточний баланс рахунку та оновлює аналітичні індикатори користувача.

Для взаємодії між клієнтською та серверною частинами використано REST API [7]. Передача даних здійснюється асинхронно, що дозволяє мінімізувати затримки при оновленні інтерфейсу та забезпечує високу швидкодію системи навіть при значній кількості транзакцій. На рисунку 1 представлено послідовність взаємодії між користувачем, клієнтським веб-інтерфейсом, серверною частиною та базою даних під час додавання фінансової операції. Діаграма демонструє асинхронний обмін даними та механізм оновлення статистики після успішного збереження транзакції.

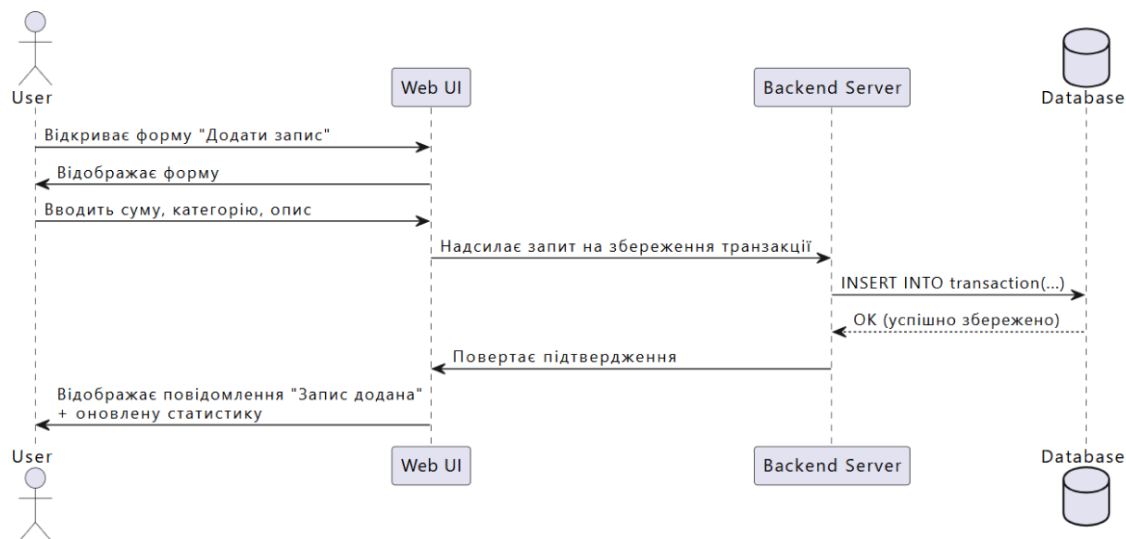


Рисунок 1 – Діаграма послідовності обробки фінансових транзакцій

Окремим компонентом системи є модуль фінансових цілей. Користувач може задавати бажану суму накопичення та часовий інтервал її досягнення. Прогрес виконання цілі визначається як співвідношення поточних накопичень

до цільового значення та динамічно оновлюється після кожної зміни фінансового стану.

Для забезпечення безпеки персональних даних реалізовано механізми JWT-авторизації та хешування паролів. Використання токенів доступу дозволяє захистити API від несанкціонованих запитів, а збереження паролів у вигляді хешів відповідає сучасним вимогам інформаційної безпеки [4].

Для оцінки ефективності запропонованого рішення проведено порівняльний аналіз із популярними системами управління персональними фінансами. Результати дослідження показали, що розроблений веб-застосунок забезпечує базовий набір функцій, необхідних для персонального фінансового моніторингу, підтримує інтерактивний аналіз фінансових даних та не містить рекламного навантаження, характерного для багатьох безкоштовних платформ.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні доступного інструменту для автоматизації фінансового обліку та підтримки прийняття рішень під час планування персонального бюджету. Розроблений підхід може бути використаний як основа для подальшого розвитку інформаційних систем фінансового моніторингу.

Перспективи подальших досліджень полягають у впровадженні модулів прогнозування витрат на основі аналізу часових рядів, інтеграції з банківськими API та розширенні функціональності системи засобами персоналізованих фінансових рекомендацій.

Список використаних джерел

1. Agarwal, V., Ray, R., & Varghese, N. A privacy-driven data management model for smart personal assistants. *ResearchGate*. 2024. <https://www.researchgate.net/publication/317172126>.
2. Prakash, J., Sharma, V., Patel, N. Personal finance transformation in the digital era: The impact of financial technology on people's economic behavior. *ResearchGate*. 2024. <https://www.researchgate.net/publication/392776574>.
3. Gomber, P., Koch, J.-A., Siering, M. Digital finance and FinTech: Current research and future research directions. *Journal of Business Economics*, 2017. Vol. 87. P. 537–580. <https://doi.org/10.1007/s11573-017-0852-x>
4. Kumar, A., Gupta, S. Security and privacy issues: A survey on FinTech. *ResearchGate*. 2020. <https://www.researchgate.net/publication/312326195>.
5. Bashovyi, V. M., Statsenko, V. V., Statsenko, D. V. Development of adaptive web interface for personal finance management application. *Technologies and Engineering*, 2022. Vol.5. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.5.1>.
6. Elmasri, R., Navathe, S. B. *Fundamentals of Database Systems* (7th ed.). Pearson, 2016.
7. Fielding, R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine, 2000.

УДК 004.8:004.93

МЕТОД ПАРАЛЕЛЬНОЇ СЕМАНТИЧНОЇ ОБРОБКИ МЕДІА-РЕСУРСІВ ДЛЯ КОНТЕКСТНО-АДАПТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ

Климчук Анастасія Богданівна,
здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
anastasya.klymchuk@gmail.com

Турченко Ірина Василівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
itu@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9441-6669
Західноукраїнський національний університет

В умовах розвитку цифрових технологій спостерігається стрімке зростання обсягів і споживання відеоконтенту, що водночас є якісним ресурсом для навчальних цілей, зокрема в розвитку мовних навичок.

У концепції комп'ютерно-орієнтованого вивчення мов (Computer-Assisted Language Learning, CALL) одним із найбільш перспективних напрямків є навчання на основі відеоматеріалів, які поєднують лінгвістичний, візуальний та аудіальний канали сприйняття [1].

Особливе місце тут займає кіномедіа, перевагами якого є занурення в мовне середовище через автентичні матеріали й мистецтво оповідання історій, що активує емоційну та когнітивну складові людини [2]. Це полегшує процес запам'ятовування і підтримує мотивацію, оскільки матеріали орієнтовані на індивідуальні потреби й можливості людини.

Найбільш доцільним є поєднання перегляду відео з активними методами навчання: інтерактивними вправами, тестами, відстеженням прогресу [3]. Основним матеріалом для побудови навчальних систем такого типу є субтитри – цей специфічний тип даних займає проміжне місце між такими двома формами комунікації, як письмо та усне мовлення [4]. Основними особливостями є:

- наявність часової прив'язки (часові інтервали створюють додатковий вимір даних);
- фрагментарність (текст поділяється на сегменти відповідно до часових міток);
- технічний шум (службові позначки, елементи форматування тощо);
- розмовний характер (використання скорочень, вигуків, філерів);
- еліптичність (неповні висловлювання чи репліки, що не зрозумілі без додаткового контексту).

Також субтитри відображають лише певну частину доступної інформації із відео, опускаючи візуальний, аудіальний, наративний і жанровий контексти. Все це зумовлює потребу в спеціалізованих підходах до їх обробки.

Проаналізувавши існуючі методи обробки субтитрів – пряму сегментну обробку, очищення тексту з сегментною обробкою, семантичну сегментацію субтитрів із їх перетворенням у векторний простір – було виявлено, що жоден підхід не забезпечує комплексного вирішення проблеми урахування зв'язності субтитрів і додаткового контексту, що обмежує якість перекладу і генерації навчального контенту на їх основі [5-7].

Враховуючи переваги і недоліки проаналізованих підходів, у межах дослідження запропоновано метод паралельної семантичної обробки медіа-ресурсів для контекстно-адаптивної генерації навчального контенту, що дозволяє автоматизувати підготовку текстових даних субтитрів для їх перекладу, синхронізації з відеорядом і створення навчальних матеріалів.

Алгоритм паралельної семантичної обробки медіа-ресурсів (рисунок 1) включає: очищення та нормалізацію тексту, семантичну сегментацію із урахуванням змістових зв'язків між репліками, паралельну обробку сегментів із динамічним визначенням кількості потоків, вирівнювання (alignment) перекладених субтитрів із часовою структурою оригіналу, збагачення результату метаданими медіаресурсу.



Рисунок 1 – Схема алгоритму паралельної семантичної обробки медіа-ресурсів

Етап очищення й нормалізації субтитрів необхідний для усунення технічного шуму із сирого тексту. Це включає видалення службових позначок, тегів форматування, вигуків та філерів. Додатково здійснюється нормалізація розділових знаків та скорочень. Наприклад, рядок «SARAH: Uh... well... I mean... [LAUGHS] okay» після очищення набуває вигляду «Well, I mean, okay» – із збереженням змістового ядра репліки та відповідної часової мітки.

На етапі семантичної сегментації очищені фрагменти об'єднуються у змістові блоки на основі векторних представлень (embeddings) та обчислення косинусної схожості між сусідніми репліками. Там, де значення схожості різко знижується нижче порогового, визначається межа змістового блоку. Наприклад, репліки «What happened to her?», «She left two days ago» та «Nobody knows where she went» матимуть високу взаємну схожість і будуть об'єднані в один блок. Наступна репліка «Let's talk about the meeting» через різке зниження схожості стане початком нового блоку.

На етапі паралельної обробки сегментів сформовані змістові блоки передаються на переклад із динамічним розподілом між потоками обробки. Кількість потоків визначається на основі характеристик пристрою та обсягу вхідних даних, що дозволяє ефективно використовувати доступні обчислювальні ресурси. Кожен блок перекладається як цілісна одиниця із урахуванням внутрішнього контексту, що забезпечує вищу якість перекладу порівняно з сегментним підходом.

Далі відбувається етап вирівнювання часових міток, де перекладений текст розбивається назад на окремі рядки субтитрів із призначенням часових міток з оригіналу. Розподіл міток здійснюється пропорційно до довжини кожного рядка у символах із дотриманням обмежень на максимальну кількість символів у рядку субтитрів. Це забезпечує коректну синхронізацію перекладених субтитрів із відеорядом.

Етап збагачення метаданими є фінальним блоком обробки субтитрів і необхідний для покращення якості генерації навчальних матеріалів за рахунок контекстно-адаптивного доповнення вхідних даних. Тут враховуються: назва, жанри, рік, імена ключових персонажів. Ці дані включаються у запит до мовної моделі при генерації навчального контенту, що дозволяє отримувати релевантні тести та завдання з урахуванням специфіки конкретного контенту.

Висновки: запропоновано метод паралельної семантичної обробки медіаресурсів для контекстно-адаптивної генерації навчального контенту, що вирішує ключові проблеми існуючих підходів до обробки субтитрів: фрагментарність обробки й відсутність урахування контексту медіаресурсу. Завдяки цьому забезпечується коректний переклад і якісна генерація навчальних матеріалів. Використання паралельної обробки із динамічним визначенням кількості потоків дозволяє ефективно масштабувати метод залежно від обсягу вхідних даних та характеристик середовища виконання.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення механізмів семантичної сегментації для підвищення стабільності на коротких діалогічних

фрагментах і поглиблення адаптації навчальних матеріалів до індивідуального профілю користувача.

Список використаних джерел

1. Montero Perez M. On-Screen Texts in Audiovisual Input for L2 Vocabulary Learning: A Review. *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. Article 904523. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.904523.
2. Gilmore A. Authentic materials and authenticity in foreign language learning. *Language Teaching*. 2007. Vol. 40(2), P.97-118. DOI: 10.1017/S0261444807004144.
3. Климчук А.Б., Турченко І.В. Інтерактивний застосунок для вивчення англійської мови на основі медіа-контенту із використанням OpenAI. *Інтелектуальні інформаційні технології в прикладних дослідженнях» (ІІТАР-2025): збірник тез доповідей студентської науково-практичної конференції (Тернопіль, 27-29 травня 2025 р).* Тернопіль: ЗУНУ, 2025. С.168-170.
4. Díaz Cintas J., Remael A. *Audiovisual Translation: Subtitling*. London: Routledge, 2007. P. 272.
5. Matusov E., Leusch G., Banchs R. E., Ney H. Evaluating Machine Translation Output with Automatic Sentence Segmentation for Subtitles. *Spoken Language Translation: Proceedings of the International Workshop*. 2006. P. 148-154.
6. Lison P., Tiedemann J. OpenSubtitles2016: Extracting Large Parallel Corpora from Movie and TV Subtitles. *Language Resources and Evaluation: Proceedings of the 10th International Conference*. 2016. P. 923-929.
7. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. *Empirical Methods in Natural Language Processing: Proceedings of the 2019 Conference*. 2019. P. 3982-3992.

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОНЛАЙН-ЗАМОВЛЕНЬ ЮВЕЛІРНИХ ПРИКРАС

Котрубенко Валерія Ігорівна, студентка
lera05kp@gmail.com

Науковий керівник: Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління,
Західноукраїнський національний університет
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Сучасний стан світової економіки характеризується стрімким переходом форм торгівлі у цифровий простір. Електронна комерція стала ключовим інструментом розвитку бізнесу в умовах глобалізації та частих кризових явищ [1, 2]. Особливе місце у цьому сегменті займає ринок ювелірних виробів та аксесуарів. Прикраси належать до товарів з високою емоційною складовою, де візуальна презентація та зручність процесу вибору спрощують прийняття рішення про покупку.

Ювелірна сфера, представлена в інтернет-комерції, перебуває між мінімалізмом та функціональною зручністю. Дослідження світових та локальних лідерів ринку підтвержує, що надмірне використання маркетингу або складного функціоналу часто може заважати користувачу.

Ключовою проблемою залишається технічна реалізація процесу замовлення, яка повинна враховувати специфіку товару: варіативність розмірів, матеріалів та необхідність збору контактних даних клієнта [3].

Необхідно зосередити увагу на реалізацію мінімалістичного середовища та зрозумілу структуру каталогу. Тому розробка програмної системи виконання онлайн-замовлень ювелірних прикрас, що поєднує каталог продукції з кошиком, є раціональним кроком на шляху до цифрової трансформації ювелірних продажів та забезпечить користувачеві зручний інтерфейс вибору продукції та швидке оформлення покупки.

Дослідження охоплює повний цикл взаємодії з покупцем — від моменту формування замовлення на сайті до остаточної передачі готового ювелірного виробу замовнику. До складу основних бізнес-процесів входять: перевірка наявності прикрас на складі, характеристик виробу (розмір, тип металу, проба тощо), а також забезпечення безпеки оплати. У ювелірній сфері цикл є особливо складним через те, що вироби мають індивідуальні особливості та потребують високого рівня точності інформаційного обміну між продавцем і клієнтом [4].

Для моделювання структури програмної системи розроблено дерево функцій, яке відображає процес онлайн-замовлення прикрас впродовж усіх

етапів купівлі/продажу.

Перша гілка дерева функцій відповідає за інформаційне забезпечення, де реалізовано логіку вибору індивідуальних характеристик виробу, наприклад, розмір каблучки чи тип металу. Центральна гілка відповідає за управління кошиком, збереження стану замовлення та надає користувачеві можливість редагувати вміст списку обраних товарів. Заключний етап оформлення та підтвердження замовлення забезпечує збір персональних даних клієнта та є основою для подальшої обробки інформації системою.

Транзакційна складова системи відповідає за стабільність роботи онлайн-магазину в реальному часі та коректність виконання кожної окремої операції, як от: реєстрація дій користувача, збереження обраних товарів, обробка цін та фіксація залишків продукції у базі даних.

Аналітична частина системи призначена для дослідження показників, що були сформовані транзакційним блоком. Ця складова дозволяє проводити аналітику діяльності онлайн-магазину: як змінювалися обсяги продажу упродовж певного часу; види ювелірних виробів, які найбільше подобаються покупцям; успішність функціонування тощо. Такий підхід забезпечує керівництво магазину необхідною інформацією для прийняття рішень щодо розширення асортименту чи впровадження програм лояльності.

В основу побудови архітектури системи покладено принцип декомпозиції «зверху-вниз», що передбачає поступовий перехід від високого рівня абстракції до нижчих рівнів технічної реалізації. Такий підхід забезпечує цілісність системи, де кожна окрема функція, як-от збереження стану кошика чи логіка вибору параметрів, чітко підпорядкована загальній меті проєкту.

Алгоритмічне забезпечення є компонентом програмної системи і використовується як механізм, що визначає послідовність обробки даних з моменту запиту користувача до остаточної реєстрації транзакції в базі даних.

Процес починається з ініціалізації інтерфейсу, де система очікує введення фізичних характеристик ювелірного виробу. Отримані дані про зразок металу та розмір виробу передаються в блок попередньої обробки, де виконується синхронізація з поточним каталогом продукції. Така перевірка важлива для запобігання ситуаціям, коли клієнт намагається вказати технічно неможливу характеристику виробу.

Після завершення обчислювальних операцій алгоритм спрямовує отримані результати до блоку управління кошиком товарів. Тут забезпечується збереження вибору користувача та формування списку покупок.

Завершальна стадія роботи алгоритму зосереджена на точності обчислень. Достовірність результатів забезпечується механізмом транзакційної цілісності, де запис у базу даних може бути виконаний лише після завершення всіх попередніх кроків без жодних збоїв системи.

Алгоритм також містить блоки обробки виняткових ситуацій, таких як раптове закінчення сесії або некоректне введення символів у поля контактних даних.

Завдяки чіткості функцій та етапів виконання замовлення, мінімізуються ризики та покращується якість сервісу, що є критично важливим для сегменту ювелірних виробів.

Інформаційне забезпечення системи, у контексті управління онлайн-замовленнями ювелірних виробів, є середовищем, яке ґрунтується на концепції інтеграції внутрішніх масивів даних із зовнішніми запитами користувачів та гарантує цілісність, актуальність та доступність даних про товари, клієнтів та стан транзакцій (таблиця 1).

Таблиця 1 - Інформаційні потоки

Категорія даних	Джерело інформації	Призначення та зміст даних
Вхідні параметри	Клієнт (веб-інтерфейс)	Сукупність вибору моделі, розміру прикраси та контактних відомостей замовника
Нормативно-довідкові	Каталог	Актуальна ціна за грам металу, коефіцієнти складності та доступні залишки
Вихідні показники	Модуль обробки даних	Сформований запис про транзакцію, електронна квитанція та статус виконання замовлення

Для забезпечення надійності зберігання даних використовується принцип нормалізації, що дозволяє уникнути аномалій при видаленні або оновленні записів.

Завдяки чіткій класифікації даних та встановленим зв'язкам, система забезпечує високу точність фінансових розрахунків та оперативне оновлення інформації про статус замовлення. Це, у свою чергу, підвищує загальну продуктивність програмної системи та покращує взаємодію користувачів з цифровим інтерфейсом.

Розроблена система дозволяє автоматизувати збір замовлень, забезпечує високу швидкість завантаження сторінок та може бути використана як база для створення повноцінних комерційних веб-сайтів для приватних майстрів-ювелірів або брендів біжутерії та ювелірних прикрас.

Список використаних джерел

1. Мельниченко С.В., Бондарев Б.В. Електронна комерція та її вплив на бізнес-середовище. *Маркетинг і цифрові технології*. 2025. Том 9 № 1. С. 117-129.
2. Пухальська Я. Особливості створення інтернет-магазину для залучення нових покупців в сучасних умовах. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. № 3. С. 114-117.
3. Як створити сайт інтернет-магазину: нові можливості й платформи 2025 року. URL: <https://hostpro.ua/blog/ua/how-to-create-an-online-store-website/>
4. Створення ювелірного інтернет-магазину. URL: <https://fnx.dp.ua/ua/articles/blog/95>

УДК 004.67

МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ EXCEL ТА PYTHON

Овчарук Андрій Ігорович, студент,
andrey.ovcharuk2016@gmail.com

Науковий керівник: Васильків Надія Михайлівна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційно-
обчислювальних систем і управління
Західноукраїнський національний університет,
nvs@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4247-7523

Фінансова діяльність малого підприємства пов'язана з постійним опрацюванням доходів, витрат, податкових платежів, залишків коштів, дебіторської заборгованості, запасів та короткострокових управлінських рішень. Невеликий масштаб бізнесу не зменшує складності фінансового планування, оскільки навіть незначна помилка в прогнозі продажів, закупівель або касового розриву може вплинути на платоспроможність підприємства. Малий бізнес часто потребує доступних інструментів, які дають змогу швидко виконувати розрахунки, зіставляти сценарії розвитку, контролювати рух коштів та формувати зрозумілі аналітичні висновки для керівника [1].

Актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні практичної фінансової моделі, придатної для використання без складних корпоративних інформаційних систем. Microsoft Excel є зручним середовищем для первинного введення, перевірки та візуального представлення фінансових даних, а Python дає змогу автоматизувати повторювані розрахунки, виконувати обробку табличних наборів, будувати графіки та формувати аналітичні результати. Поєднання електронних таблиць та програмного коду підвищує гнучкість фінансового моделювання, оскільки користувач отримує можливість працювати із зрозумілою структурою книги Excel та водночас застосовувати алгоритмічне опрацювання даних [1, 2].

Метою є побудова фінансової моделі малого підприємства засобами Excel та Python для прогнозування доходів, витрат, прибутку та грошових потоків, а також, для підтримки управлінських рішень на основі розрахункових та візуалізованих показників.

Об'єктом дослідження є фінансові процеси малого підприємства, пов'язані з формуванням доходів, витрат, прибутку і грошового потоку.

Фінансове моделювання малого підприємства потребує інструментів, які поєднують простоту введення інформації, зрозуміле представлення результатів та можливість автоматизованого опрацювання розрахунків. В практичній діяльності малого бізнесу важливим є не лише математичний апарат моделі, а й

зручність щоденної роботи з нею. Користувач повинен швидко вносити планові або фактичні значення, переглядати підсумки, аналізувати відхилення та отримувати результати без складного технічного налаштування.

Excel є одним з найбільш поширених середовищ для роботи з табличними даними. Його перевага полягає в наочній структурі аркушів, можливості створювати формули, використовувати вбудовані функції, будувати діаграми та організовувати фінансові таблиці за періодами. Excel зручний тим, що не потребує складної підготовки користувача та дозволяє швидко сформувати книгу з вхідними даними, розрахунковими блоками та підсумковими показниками.

Python доповнює Excel за рахунок можливостей автоматизації. Мова програмування дає змогу зчитувати дані з електронних книг, виконувати серії розрахунків, перевіряти коректність заповнення, обробляти значні обсяги записів та формувати підсумкові звіти. Для фінансової моделі малого підприємства Python доречно застосовувати там, де ручне опрацювання стає повторюваним або потребує додаткової перевірки.

Водночас Excel має обмеження, які проявляються під час масштабування моделі. Велика кількість формул в різних аркушах ускладнює перевірку логіки, а ручне копіювання розрахунків збільшує ймовірність помилок. Якщо модель потребує регулярного оновлення, порівняння багатьох періодів або автоматичного формування звітів, ручна робота в електронній книзі стає недостатньо ефективною.

Для фінансового моделювання найбільш корисними є можливості Python, пов'язані з роботою з таблицями, числовими обчисленнями та графіками. За допомогою програмного модуля можна зчитати книгу Excel, перевірити наявність потрібних стовпців, обчислити виручку, витрати, прибуток, рентабельність і залишок коштів. Після розрахунків, програма може сформувати оновлену таблицю або зберегти підсумковий звіт в окремий файл.

Поєднання Excel і Python особливо корисне для сценарного аналізу. В книзі Excel можна задати вхідні припущення щодо ціни, обсягу продажів, змінних витрат, постійних платежів і строків надходження коштів. Python може обробити кілька варіантів розвитку подій та порівняти результат за прибутком, чистим грошовим потоком та кінцевим залишком коштів.

Таким чином, Excel виконуватиме роль середовища для введення та перегляду фінансової інформації, а Python забезпечуватиме автоматизацію розрахунків, перевірку даних, формування підсумків і побудову графіків. Поєднання електронних таблиць та програмного модуля дає змогу створити рішення, придатне для регулярного аналізу доходів, витрат, прибутку та руху коштів малого підприємства.

Спочатку користувач заповнює Excel-книгу, після чого програмний модуль перевіряє наявність необхідних аркушів, стовпців і числових значень. Далі виконуються розрахунки цільових показників, формується підсумкова таблиця, а результати подаються у вигляді графіків та звітних блоків. Завершальним

етапом є інтерпретація отриманих значень, яка дає змогу оцінити фінансовий стан малого підприємства (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема формування цільових показників фінансової моделі

Під час виконання роботи застосовано фінансовий аналіз для визначення показників, що характеризують господарську діяльність підприємства. Табличне моделювання використано для побудови структури вхідних і вихідних даних. Алгоритмізація розрахунків застосована для формального опису послідовності обробки фінансової інформації. Програмна реалізація мовою Python використана для автоматизації обчислень, побудови графіків та формування результатів моделювання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої моделі для підтримки фінансового планування малого підприємства. Результати роботи можуть бути корисними для власників малого бізнесу, фінансових менеджерів, бухгалтерів та фахівців, які виконують аналітичне опрацювання фінансової інформації за допомогою доступних програмних засобів.

Список використаних джерел

1. Шубенко Є. С. Методологічні аспекти економічного аналізу великих масивів даних у середовищі MS Excel: від групування до управлінських рішень. *Економіка, управління та адміністрування*. 2026. № 1(115). С. 146–152. [https://doi.org/10.26642/ema-2026-1\(115\)-146-152](https://doi.org/10.26642/ema-2026-1(115)-146-152)
2. Баланюк І. Ф., Ліба Н. С., Іваночко Б. Р., Шеленко Д. І., Мельник І. О. Цифрові технології EXCEL як інструмент гармонізації бухгалтерського обліку та економічного контролю з потребами бізнес середовища. *Актуальні питання економічних наук*, 2025. №14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16915316>



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

**МАТЕРІАЛИ
І МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

INTELLIGENT COMPUTING SYSTEMS AND PROJECT MANAGEMENT

**CONFERENCE PROCEEDINGS OF THE I INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PRACTICAL CONFERENCE OF STUDENTS AND YOUNG SCIENTISTS**

Тернопіль, 21–22 травня 2026 року / Ternopil, May 21–22, 2026

Підписано до друку 20.05.2026.
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний 80 г/м². Друк електрографічний.
Умов.-друк. арк. 9,12. Обл.-вид. арк. 10,03.
Тираж 300 примірників. Замовлення №26-515.

Віддруковано ФОП Шпак В.Б.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК№7599 від 10.02.2022
Тел.: 097 299 38 99
E-mail: tooums@ukr.net