МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

(ПТІКІ'2026)

Одеса, Україна, 16 липня 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ (ПТІКІ'2026)

Матеріали

IV Міжнародної конференції

16 липня 2026 р.

Одеса - 2026

УДК 004.9
П 27

Проведення заходу зареєстровано в Державній науковій установі «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації» (Реєстраційний номер: 3326U000765 від 01-07-2026 р.).

Рецензенти:
Надія КАЗАКОВА – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова
Віктор СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ – к.т.н., доцент, доцент кафедри підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання Одеського національного морського університету

Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії (ATICE'2026) : матеріали IV міжнар. конф. (м. Одеса, Україна, 16 липня 2026 р.) / від. за вип.: Н. Пунченко, Д. Розенвассер. Одеса : Міжнар. ун-т, 2026. 149 с. DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33747

Advanced Technology in Information and Communication Engineering (ATICE'2026) : proceedings of the IV International conference (Odesa, Ukraine 16 July 2026) / Responsible for the issue: N. Punchenko, D. Rozenvasser. Odesa : International University, 2026. 149 p**.** DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33747

У збірнику подано результати наукових досліджень, висвітлено обговорення актуальних проблем, викликів і тенденцій з інформаційних систем, технологій захисту інформації, використання сучасних інформаційних технологій в управлінні системами у різних галузях народного господарства. Матеріали охоплюють інноваційні підходи, досвід упровадження сучасних рішень і приклади успішних практик трансформації різних галузях народного господарства .

Видання призначене для науково-педагогічних працівників, здобувачів освіти, науковців і фахівців ІТ галузі.

Відповідальні за випуск:
к.т.н., доцент Пунченко Наталія,
к.т.н., доцент Розенвассер Денис.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова

КІВАЛОВ С.В. – д.ю.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.

Співголови

ГРОМОВЕНКО К.В. – д.ю.н., проф., Міжнародний університет, м. Одеса, Україна.
ЛЕФТЕРОВ В.О. – д.п.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна
СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., НТУ України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

Члени організаційного комітету

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ЙОНА Л.Г. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
РУСУ О.П. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ВАКАРЧУК А.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ГРІБОВА В.В. – к.ф.-м.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

КОМІТЕТ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.
ГЛОБА Л. С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

ПУНЧЕНКО Н.О. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ТЕХНІЧНО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.
УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.
ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

СЕКЦІЇ

СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 2. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
РУСУ О.П. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

МІРОШНИК М.А. - д.т.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ВАКАРЧУК А.О. - к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 4. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

ЙОНА Л.Г. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
ОНАЦЬКИЙ О.В. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 5. ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

ПЕДЯШ В.В. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.
РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 6. ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ В ОСВІТІ

ГОРБАЧОВ В.Е. – к.т.н., доц., Міжнародний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 7. ПСИХОЛОГІЯ ЦИФРОВОГО ПРОСТОРУ. КІБЕРПСИХОЛОГІЯ

ЄРМАКОВА С.С. – д.п.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 8. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕСУ

КНЯЗЄВА О.А. – д.е.н. проф., Одеський державний аграрний університет, Одеса, Україна.
ЖИГУЛІН О.А. – д.е.н., проф., Міжнародний університет, Одеса, Україна.

ВІТАЛЬНЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА МІЖНАРОДНОГО УНІВЕРСИТЕТУ СЕРГІЯ ВАСИЛЬОВИЧА КІВАЛОВА

Шановні учасники Четвертої міжнародної конференції «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ПТІКІ-2026) щиро вітаю вас від імені колективу Міжнародного університету з відкриттям наукової конференції. Приємно відзначити, що проведення конференції стало доброю традицією й вже четвертий рік поспіль науковці, викладачі, молоді дослідники, аспіранти, здобувачі освіти та представники ІТ-галузі України й інших країн збираються в стінах Міжнародного університету для відкритого наукового діалогу, обміну знаннями й досвідом, представлення результатів досліджень та спільного пошуку інноваційних рішень.

Сьогодні інформаційно-комунікаційні технології є одним із ключових чинників розвитку суспільства, економіки, науки та держави загалом. Вони визначають напрями цифрової трансформації, відкривають нові можливості для інновацій. Водночас стрімкий розвиток технологій ставить перед науковою спільнотою нові виклики, особливої актуальності сьогодні набувають дослідження у сфері інженерії програмного забезпечення, комп'ютерних наук і комп'ютерної інженерії, кібербезпеки та захисту інформації, електронних комунікацій і радіотехніки. Не менш важливими є розвиток цифрових технологій в освіті, вивчення психологічних аспектів функціонування людини в цифровому просторі та кіберсередовищі, а також наукові підходи до цифрової трансформації бізнесу. Саме ці актуальні напрями стали основою для наукових дискусій і досліджень, представлених на конференції.

Для України розвиток науки, освіти та ІТ-технологій має особливе значення, саме інновації, наукові дослідження та підготовка висококваліфікованих фахівців формують основу майбутнього відновлення України й сталого розвитку нашої держави, її конкурентоспроможності у світовому науковому та технологічному просторі.

Висловлюю щиру вдячність учасникам, організаторам, членам програмного комітету та партнерам конференції за підтримку наукового співробітництва, активну участь і прагнення до професійного розвитку. Бажаю всім учасникам змістовних доповідей, конструктивних дискусій, нових професійних контактів, успішної реалізації наукових задумів та вагомих результатів, які знайдуть практичне застосування й стануть внеском у розвиток науки, освіти та інновацій. Бажаю конференції успішної роботи, а всім її учасникам – натхнення, творчих здобутків, миру та нових наукових звершень. Віримо в Україну! Працюємо для Перемоги! Слава Україні!

Сергій Ківалов
Президент Міжнародного університету, академік,
доктор юридичних наук, професор,
Заслужений юрист України,
Почесний громадянин міста Одеса

ВІТАЛЬНЕ СЛОВО РЕКТОРА МІЖНАРОДНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОСТЯНТИНА ВІКТОРОВИЧА ГРОМОВЕНКА

Шановні учасники Четвертої міжнародної конференції «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ПТІКІ – 2026)!

Від імені колективу Міжнародного університету щиро вітаю вас з відкриттям Четвертої міжнародної конференції «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії». Для нашого університету є великою честю вже четвертий рік поспіль об'єднувати науковців, викладачів, молодих дослідників, аспірантів, здобувачів освіти та представників ІТ-галузі, галузі електронних комунікацій та галузі освіти з України та інших країн для професійного діалогу, обміну досвідом і презентації результатів наукових досліджень.

Міжнародний університет послідовно розвиває сучасне освітнє середовище, зміцнює співпрацю з українськими та закордонними університетами, науковими установами й ІТ-компаніями, створюючи умови для підготовки конкурентоспроможних фахівців, здатних відповідати викликам цифрової епохи. Ми пишаємося тим, що Факультет кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук за чотири роки існування став провідним центром підготовки висококваліфікованих фахівців ІТ-галузі, галузі електронних комунікацій та освітньої галузі, які вже сьогодні роблять свій внесок у розвиток науки, інформаційних технологій та цифрової економіки України.

Особливої ваги сьогодні набуває роль науки у зміцненні держави, її цифрової стійкості та післявоєнному відновленні. Саме інновації, нові технології та висококваліфіковані фахівці є важливою складовою майбутнього України, її конкурентоспроможності та інтеграції до європейського наукового й освітнього простору.

Щиро дякую учасникам конференції за відданість науці, прагнення до професійного розвитку та готовності ділитися знаннями. Бажаю кожному учаснику плідної роботи, змістовних дискусій, нових наукових ідей, успішних досліджень, корисних професійних знайомств і творчого натхнення.

Шановні учасники, бажаю вам миру, добробуту, нових звершень і впевненості в майбутньому! Нехай результати нашої спільної роботи стануть вагомим внеском у розвиток науки, освіти та інформаційно-комунікаційних технологій. Віримо в Збройні сили України! Наближаємо нашу Перемогу! Слава Україні!

Костянтин ГРОМОВЕНКО
Ректор Міжнародного університету,
доктор юридичних наук, професор,
Заслужений юрист України

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1.
ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

УДК 004.7:621.39

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33748

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ РІВНІВ УЗАГАЛЬНЕНОЇ АРХІТЕКТУРИ АСУ В НИЗЬКОШВИДКІСНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

Стрелковська І.В., д.т.н., професор,
декан факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет, Одеса, Україна
i.strelkovskaya@mgu.edu.ua
Золотухін Р.В., аспірант спец. 121 Інженерія програмного забезпечення
Міжнародний університет, Одеса, Україна
zolotukhinrv@gmail.com
Стрелковська Ю.О., кандидат юридичних наук, доцент
Вортінгський коледж, 1 Сандітон Вей, Вортінг, BN14 9FD, Велика Британія.

Анотація. *В роботі запропоновано методику оцінки ймовірності обслуговування кожного рівня узагальненої архітектури автоматизованої системи управління в низькошвидкісних радіомережах зв'язку. На основі результатів імітаційного моделювання трафіку стандартів STANAG-4677 та ADatP-36 отримано значення ймовірності обслуговування радіомережі кожного рівня архітектури залежно від режиму роботи ультракороткохвильових радіостанцій. Показано, як гранична кількість абонентів, визначена для кожного режиму, дозволяє обчислити показники якості обслуговування всієї архітектури АСУ.*

Автоматизовані системи управління (АСУ) з активним переміщенням користувачів функціонують у мережах зв'язку на базі ультракороткохвильових (УКХ) радіостанцій з використанням протоколів NFFI, UDP, моделей даних JDSSDM, механізмом обміну повідомлень JDSSIEM стандарту STANAG 4677 та союзницької публікації ADatP-36 [1,4]. У роботі [2] запропоновано узагальнену архітектуру АСУ, що працюють в радіомережах зв'язку для низової ланки управління, яка складається з трьох рівнів: рівня доступу, рівня взаємодії та рівня керування. Для цих рівнів визначено ймовірність обслуговування радіомережі як добуток ймовірностей обслуговування її складових елементів.

Сучасні УКХ радіостанції підтримують три основних режими роботи: фіксована частота (Fixed Frequency or FF), псевдовипадкова перебудова робочої частоти — ППРЧ та широкосмуговий. Вибір режиму на кожному рівні архітектури визначається конкретним сценарієм застосування:

дальністю зв'язку, необхідним рівнем захисту та кількістю абонентів. Зокрема, режим ППРЧ використовується для забезпечення максимального захисту від перехоплення. У роботі [3] визначено граничну кількість одночасно активних сервісів STANAG-4677 та ADatP-36 для кожного режиму роботи радіостанції.

Метою роботи є поєднання узагальненої архітектурної моделі АСУ [2] з результатами імітаційного моделювання трафіку [3] для отримання кількісних показників якості обслуговування залежно від режиму роботи УКХ радіостанцій.

Узагальнену модель та показники ймовірності обслуговування показано на рис.1 [2]. На узагальненій моделі показників функціонування показано наступні позначення ймовірностей обслуговування (рис. 1):

$p_{РД}$ – мережа зв’язку рівня доступу;

$p_{РВ}$ – мережа зв’язку рівня взаємодії;

$p_{КР}$ – мережа зв’язку керівного рівня;

$p_{ОРД}$ – обладнання рівня доступу;

$p_{УРД}$ – УКХ радіомережа доступу;

$p_{ОРВ}$ – обладнання рівня взаємодії;

$p_{УРВ}$ – УКХ радіомережа взаємодії;

$p_{ОРК}$ – обладнання рівня керування;

$p_{УРЯ}$ – УКХ радіомережі ядра;

$p_{СС}$ – спеціалізованими серверами.

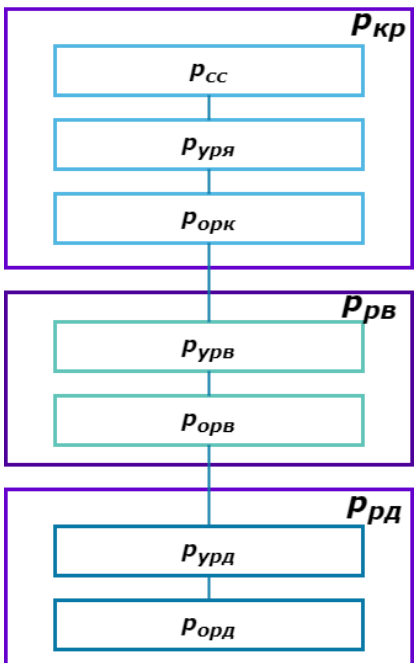


Рисунок 1 - Узагальнену модель та показники ймовірності обслуговування АСУ

Відповідно до роботи [2], рівні АСУ в узагальненій архітектурі можна описати ймовірностями обслуговування радіомережі та обладнання цього рівня. Ймовірність обслуговування рівня доступу, взаємодії га керування визначається [2]:

$$p_{\text{РД}} = p_{\text{ОРД}} \cdot p_{\text{УРД}},$$
$$p_{\text{РВ}} = p_{\text{ОРВ}} \cdot p_{\text{УРВ}},$$
$$p_{\text{КР}} = p_{\text{ОРК}} \cdot p_{\text{УРЯ}} \cdot p_{\text{СС}}.$$

Ймовірність обслуговування радіомережі кожного рівня ($p_{\text{УРД}}$, $p_{\text{УРВ}}$, $p_{\text{УРЯ}}$) залежить від режиму роботи УКХ-радіостанцій та кількості сервісів, що функціонують у цій радіомережі. Саме ці значення визначаються через імітаційне моделювання трафіку протоколів JDSS та ADatP-36 [3, 4].

Відповідно до результатів імітаційного моделювання [3], при допустимому порозі ймовірності обслуговування $p_{\text{обс}} \geq 0{,}8$ гранична кількість одночасно активних сервісів JDSS та ADatP-36 ($N_{\text{гр}}$) та відповідна ймовірність обслуговування радіомережі становить:

– режим FF (97 кбіт/с): $N_{\text{гр}} = 10$ сервісів, $p_{\text{обс}} = 0{,}88$;

– режим ППРЧ (16 кбіт/с): $N_{\text{гр}} = 1$ сервіс, $p_{\text{обс}} = 0{,}89$;

– широкосмуговий режим (350 кбіт/с): $N_{\text{гр}} = 40$ сервісів, $p_{\text{обс}} = 0{,}87$.

Для демонстрації застосування отриманих результатів розглянемо приклад сценарію з конкретною кількістю абонентів на кожному рівні архітектури: рівень доступу — режим FF, 2 сервіси; рівень взаємодії — режим FF, 7 сервісів; рівень керування — широкосмуговий режим, 25 сервісів. Приймемо, що ймовірності обслуговування обладнання задаються як:

$$p_{\text{ОРД}} = p_{\text{ОРВ}} = p_{\text{ОРК}} = p_{\text{СС}} = 0{,}99.$$

З результатів імітаційного моделювання [3] ймовірність обслуговування радіомережі для заданої кількості сервісів становить: $p_{\text{УРД}} = 0{,}980$ (FF, N = 2); $p_{\text{УРВ}} = 0{,}958$ (FF, N = 7); $p_{\text{УРЯ}} = 0{,}979$ (широкосмуговий, N = 25). Ймовірність обслуговування рівня доступу, взаємодії та керування відповідно:

$$p_{\text{РД}} = p_{\text{ОРД}} \cdot p_{\text{УРД}} = 0{,}99 \cdot 0{,}98 = 0{,}9702;$$
$$p_{\text{РВ}} = p_{\text{ОРВ}} \cdot p_{\text{УРВ}} = 0{,}99 \cdot 0{,}958 = 0{,}948;$$
$$p_{\text{КР}} = p_{\text{ОРК}} \cdot p_{\text{УРЯ}} \cdot p_{\text{СС}} = 0{,}99 \cdot 0{,}979 \cdot 0{,}99 = 0{,}959.$$

Ймовірність наскрізного обслуговування користувача від обладнання рівня доступу до обробки даних спеціалізованими серверами[2]:

$$p_{\text{ОРД–СС}} = p_{\text{РД}} \cdot p_{\text{РВ}} \cdot p_{\text{КР}} = 0{,}9702 \cdot 0{,}948 \cdot 0{,}959 = 0{,}882.$$

Отриманий результат свідчить, що при заданому розподілі навантаження між рівнями архітектури АСУ ймовірність наскрізного обслуговування становить 88,2 %, що перевищує допустимий поріг 0,8. Збільшення кількості сервісів на будь-якому рівні до граничного значення знизить цей показник, тому результати імітаційного моделювання є ключовим інструментом для обґрунтованого розподілу навантаження між рівнями.

Висновки

1. На основі результатів імітаційного моделювання трафіку стандартів STANAG 4677 та ADatP-36 отримано кількісні значення ймовірності обслуговування радіомережі АСУ залежно від режиму роботи УКХ-радіостанцій та гранично допустимої кількості сервісів: FF — 0,88, ППРЧ — 0,89, широкосмуговий — 0,87 .
2. На прикладі конкретного сценарію показано, що ймовірність наскрізного обслуговування становить 0,882, що підтверджує практичну застосовність запропонованої методики.
3. Отримані результати надають проектувальникам АСУ кількісний критерій для вибору режиму роботи УКХ-радіостанцій та розподілу кількості сервісів на кожному рівні архітектури з метою забезпечення необхідного рівня якості обслуговування всієї системи.

Література

1. Strelkovskaya I. V., Zolotukhin R. V., Makoganiuk A. O. Modeling of telecommunication components of automated control systems in low-bandwidth radio networks. In: Current Trends in Communication and Information Technologies. LNNS. Springer, Cham, 2021. P. 150–170. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_9.
2. Стрелковська І. В., Золотухін Р. В., Григор'єва Т. І. Узагальнена модель оцінки показників функціонування низькошвидкісних мереж зв'язку АСУ. Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології. 2022. № 1(03). С. 153–168. DOI: https://doi.org/10.36994/2788-5518-2022-01-03-09.
3. Стрелковська І. В., Золотухін Р. В., Стрелковська Ю. О. Гранична кількість абонентів АСУ в низькошвидкісних радіомережах зв'язку залежно від режиму роботи радіостанції. Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії (ATICE'2026): зб. матеріалів IV Міжнар. конф. Одеса: Міжнародний університет, 2026 (до друку).
4. Strelkovskaya I., Zolotukhin R. Simulation Modeling Algorithm of Low-Bandwidth Radio Network of Automated Control Systems. In: Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024.

LNNS, vol. 1338. Springer, Cham, 2025. P. 17–33. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_2.

УДК 004.4:004.8

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33749

ВПЛИВ АНГЛОМОВНИХ ПРОМПТІВ НА ЯКІСТЬ ГЕНЕРАЦІЇ ПРОГРАМНОГО КОДУ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Горбаньова Аліна,
Здобувачка 1 курсу спеціальності
«Інженерія програмного забезпечення»
Міжнародного університету, м. Одеса
alina.gor.pretty@gmail.com

***Анотація**. Стрімкий розвиток генеративного штучного інтелекту суттєво змінює підходи до розробки програмного забезпечення. Одним із факторів, що впливає на якість взаємодії з великими мовними моделями, є мова формулювання промпту. У роботі досліджено вплив англомовних і україномовних запитів на якість генерації програмного коду та супровідних пояснень. На основі порівняльного аналізу встановлено, що використання англомовних промптів у більшості випадків забезпечує більш деталізовані відповіді, повніший програмний код і ширші рекомендації щодо його вдосконалення.*

Ключові слова: програмна інженерія, генеративний штучний інтелект, промпт-інжиніринг, великі мовні моделі (LLM), англійська мова, кодогенерація, якість програмного коду.

Сучасна програмна інженерія дедалі активніше використовує генеративний штучний інтелект для автоматизації окремих етапів життєвого циклу розробки програмного забезпечення. Великі мовні моделі допомагають створювати програмний код, аналізувати помилки, генерувати документацію, пояснювати алгоритми та пропонувати оптимальні рішення. Водночас ефективність їх використання значною мірою залежить від якості сформульованого промпту, оскільки цифрова трансформація та розвиток інноваційних технологій вимагають нових підходів до інтеграції штучного інтелекту в інженерну практику [1]. Метою дослідження є визначення впливу мови запиту на результати генерації програмного коду засобами штучного інтелекту.

Для досягнення поставленої мети було ведено порівняльний

експеримент, у межах якого мовній моделі надавалися семантично еквівалентні завдання українською та англійською мовами. Порівняння здійснювалося за такими критеріями, як правильність програмного коду, деталізація пояснення, якість коментарів, відповідність сучасним практикам програмування та наявність рекомендацій щодо оптимізації. Першим завданням стала генерація алгоритму швидкого сортування мовою Python. Україномовний промпт містив запит: «Напиши реалізацію алгоритму Quick Sort мовою Python. Додай коментарі з поясненням кожної функції, проаналізуй часову складність та запропонуй можливі оптимізації». Англомовний аналог мав такий вигляд: "Write a Python implementation of the Quick Sort algorithm. Add comments explaining each function, analyze the time complexity and suggest possible optimizations". У першому випадку модель сформувала правильний програмний код із порівняно коротким текстовим супроводом. В англомовному варіанті відповідь містила значно детальніші коментарі до кожного логічного блоку, глибокий аналіз часової та просторової складності, розгорнутий опис переваг і недоліків алгоритму, а також додаткові рекомендації щодо його практичного застосування.

Другим етапом стало тестування можливостей штучного інтелекту щодо пошуку помилок у програмному коді та аналізу супутніх бізнес-процесів і логіки. Український запит був сформульований як: «Переглянь наступний код на Python, вияви помилки, поясни, чому вони виникають, і перепиши код відповідно до найкращих практик Python». Англомовний запит мав ідентичний зміст: "Review the following Python code, identify bugs, explain why they occur and rewrite the code following Python best practices". У відповідь на англомовний промпт модель продемонструвала вищий рівень деталізації: вона не лише виправила наявні дефекти, а й ширше розписала покращення архітектурної структури програми, запропонувала використання більш репрезентативних назв змінних, впровадила обробку винятків та надала вичерпні рекомендації щодо підвищення загальної читабельності коду. Аналогічна тенденція простежується і в загальних економічних дослідженнях цифрових систем, де блокчейн та штучний інтелект демонструють вищу ефективність за умов використання глобалізованих баз знань [2].

Порівняльний аналіз показав, що україномовні запити забезпечують коректні результати для більшості базових або навчальних завдань. Проте англомовні промпти частіше генерують розгорнуті технічні пояснення, глибші архітектурні рекомендації та краще враховують сучасні практики програмної інженерії, що вкрай важливо для захисту інтелектуальної власності та аудиту систем [3]. Це пояснюється тим, що переважна частина відкритого програмного коду, технічної документації, рішень на платформах на кшталт GitHub та наукових публікацій, на яких навчаються великі мовні моделі, створена саме англійською мовою [4]. Будь-які

цифрові трансакції та взаємодії у глобальному бізнес-середовищі орієнтовані на міжнародні стандарти, що безпосередньо впливає на структуру даних алгоритмів штучного інтелекту [5].

Висновки. Отримані результати підтверджують важливість володіння англійською мовою для майбутніх інженерів програмного забезпечення та менеджерів IT-проєктів. Вона є не лише засобом професійної комунікації, а й інструментом ефективної взаємодії з сучасними AI-системами. Поєднання навичок програмування, промпт-інжинірингу та професійної англійської мови дозволяє суттєво підвищити продуктивність розробки, якість програмного коду та швидкість вирішення інженерних завдань в умовах сучасної цифрової трансформації.

Література.

1. Brown T., Mann B., Ryder N. Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33. P. 1877–1901. URL: https://papers.nips.cc/paper/2020/hash/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac142f64a-Abstract.html (дата звернення: 08.07.2026).
2. Chen M., Tworek J., Jun He. Evaluating Large Language Models Trained on Code. *arXiv preprint arXiv:2107.03374*. 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2107.03374 (дата звернення: 08.07.2026).
3. Lin C. Y., Chen J. Y., Lai C. C. The Empirical Study of Multilingual Capability of Large Language Models. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 119045–119058. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3326112
4. Nguyen T., Nadi S. An Empirical Study of Flaky Tests in Python Code Generated by Large Language Models. *Proceedings of the 19th International Conference on Predictive Models and Data Analytics in Software Engineering*. 2023. P. 42–51. DOI: https://doi.org/10.1145/3617121.3617126
5. White J., Fu Q., Hays S. A Prompt Pattern Catalog to Enhance Code Generation with ChatGPT. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 133113–133132. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3324451

УДК 004.8:336.76

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33750

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТІЙКИХ КЛАСТЕРІВ ІНСТИТУЦІЙНОЇ ЛІКВІДНОСТІ В ПОТОКАХ ДАНИХ МІКРОСТРУКТУРИ РИНКУ

Чебанюк Олексій Дмитрович
бакалавр, спеціальність 014
«Середня освіта (Інформатика та програмування)»
Міжнародний університет
chebanuk@gmail.com
Динін Борис Іванович
бакалавр, спеціальність 121
«Інженерія програмного забезпечення»
Міжнародний університет
borisdynin757@gmail.com
Науковий керівник
Йона Лариса Григорівна
к.т.н., доцент
Міжнародний університет
yonalarisa66@gmail.com

Анотація. *У статті розглядається проблема аналізу мікроструктури сучасних фінансових ринків в умовах високої затримки та алгоритмічного шуму. Автором запропоновано алгоритм автоматичного виявлення та супроводу «лімітних щільностей» — великих заявок інституційних учасників. Новизна підходу полягає у використанні динамічного порогу фільтрації на основі ковзної медіани та впровадженні механізму трекінгу поведінкових патернів через систему «цвинтаря ідентифікаторів» (The Graveyard). Це дозволяє ідентифікувати реальні великі заявки та аналізувати їхню динаміку. Реалізація системи на мові Rust забезпечує обробку даних у реальному часі з мінімальним рівнем затримки. Ефективність запропонованого методу підтверджена в ході емпіричного тестування на потоках даних біржових стаканів (L2).*

Сучасні фондові ринки характеризуються домінуванням високочастотних алгоритмів (HFT). Книга заявок (L2 Order Book) є первинним джерелом даних про наміри учасників, а її дисбаланс, як доведено у фундаментальних стохастичних моделях (Cont et al., 2010), виступає ключовим предиктором мікроструктурного ціноутворення [1]. Однак висока частота скасування та перевиставлення ордерів (Cancel/Replace) створює ефект «мерехтливої ліквідності», детально описаний у дослідженнях Дж. Хасбрука та Г. Саара [3]. Для прийняття обґрунтованих торгових рішень необхідно виділяти з цього інформаційного шуму стійкі лімітні рівні, які сигналізують про присутність реального інституційного капіталу. Метою даної роботи є розробка стійкого до високочастотного шуму алгоритму для виявлення та

аналізу еволюції поведінки лімітних щільностей на сучасних цифрових та традиційних фінансових ринках.

Поняття та природа лімітних щільностей

Лімітна щільність (Market Wall) — це аномальне скупчення заявок на певному ціновому рівні. На відміну від ринкових ордерів, що здійснюють «дію», щільності являють собою «намір», який може суттєво впливати на траєкторію ціни активу. На сучасних цифрових та традиційних фінансових ринках вони виникають внаслідок інституційного накопичення активів, формування психологічних бар'єрів або захисної діяльності маркет-мейкерів в умовах мінливої парадигми ліквідності [2].

Рис 1. Приклад теплової карти розподілу потенційних інституційних заявок.

Архітектура системи та збір даних

Система реалізована на системній мові програмування Rust, вибір якої зумовлений необхідністю безпечної багатопоточної обробки потокових даних із гарантовано мінімальною затримкою (low-latency) [4]. Збір сирих даних здійснюється через протокол WebSockets (WS) [5], що забезпечує отримання потоків інкрементальних оновлень стакана (Diff Updates) у реальному часі. Застосування багатопоточного шардування з використанням структури конкурентних структур даних із шардуванням (DashMap) дозволяє паралельно обробляти сотні тисяч торгових інструментів без взаємних блокувань потоків (deadlocks) за умови достатньої продуктивності обчислювальної інфраструктури.

Методологія адаптивного виявлення.

Використання фіксованих порогів обсягу є неефективним через перманентну динаміку ринкової ліквідності. У роботі застосовано метод локальної нормалізації. Ціновий рівень i визнається щільністю, якщо його обсяг (V_i) задовольняє умові:

$$V_i \geq \text{median}(V_{i-20}, \dots, V_{i+20}) \times K$$

де

K — коефіцієнт аномальності (у проведених експериментах $K = 10$), а діапазон ± 20
визначає локальний контекст навколо цінового рівня. Даний підхід дозволяє алгоритму автоматично адаптуватися до специфіки ліквідності конкретного активу без ручного перекалібрування.

Алгоритм трекінгу та поведінкового аналізу.

Ключовою інновацією системи є управління життєвим циклом щільності через присвоєння унікальних ідентифікаторів (UID) та аналіз їхніх динамічних характеристик. Для боротьби з технічними артефактами HFT-алгоритмів та навмисним «мерехтінням» ордерів (spoofing/layering) [3] впроваджено систему кінцевих автоматів зі станом «Цвинтар» (The Graveyard):

1. Active: Щільність стабільно присутня в стакані.
2. Graveyard (Цвинтар): Щільність зникла (ймовірно, скасована алгоритмом), але її UID зберігається в оперативній пам'яті протягом 10 секунд.
3. Resurrection (Воскресіння): Якщо протягом 10 секунд на близькому ціновому рівні з'являється аналогічний обсяг, алгоритм «склеює» розірвану історію під старим UID.

Трекінг дозволяє витягувати три критичні вектори поведінки ліквідності: вектор переміщення (Price Chasing), динаміку наповнення (Volume Delta) та індекс глибини (Index Delta).

Математична модель індексу тиску (ODPI)

Розроблена метрика ODPI (Order Depth Pressure Index) концептуально розвиває ідеї Р. Конта [1] про вплив дисбалансу книги заявок на майбутню ціну. Модель враховує потужність кожної виявленої щільності i ($P_{w,i}$), зважену за гіперболічною функцією згасання відстані ($D\%_i$):

$$P_{w,i} = \frac{V_{usd,i}}{1 + 3.5 \cdot D\%_i}$$

де $V_{usd,i}$ — обсяг щільності в доларовому еквіваленті,

$D\%_i$ — відсоткова відстань від ціни Last, а 3.5 — емпіричний коефіцієнт згасання. Підсумковий індекс нормалізується в діапазоні [-100; +100]:

$$ODPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{bids,i} - \sum_{j=1}^{m} P_{asks,j}}{\sum_{i=1}^{n} P_{bids,i} + \sum_{j=1}^{m} P_{asks,j}} \times 100$$

Результати експериментальної апробації.

Для оцінки ефективності запропонованого алгоритму було проведено емпіричне дослідження на високочастотних даних (L2 Diff Updates) найбільш ліквідних інструментів крипторинку (BTC/USDT, ETH/USDT) за період першого кварталу 2025 року.

В ході тестування було отримано наступні результати:

- Продуктивність: Завдяки використанню мови Rust та lock-free структур даних, середній час обробки одного оновлення стакана (latency) склав не більше ніж 9 мкс.
- Фільтрація шуму: Застосування системи «Graveyard» дозволило ідентифікувати та відсікти до 80% короткочасних лімітних заявок, які кваліфікувалися алгоритмом як «шумові» або «спуфінгові» патерни.
- Стійкість трекінгу: Механізм «воскресіння» (Resurrection) забезпечив безперервність історії для 84% великих інституційних заявок, які піддавалися процедурі перевиставлення (Cancel/Replace) в межах 5–10 тиків від початкової ціни.

Висновки. Розроблений алгоритм здійснює перехід від простої імовірнісної оцінки стакана заявок до детермінованого інтелектуального аналізу життєвого циклу ліквідності. Наукова новизна роботи полягає в методі ідентифікації стійких цінових бар'єрів на основі аналізу часової наступності та поведінкових дельт. Експериментально підтверджена висока швидкість обробки та точність фільтрації алгоритмічного шуму дозволяють рекомендувати дану архітектуру для використання в системах автоматизованої торгівлі та інструментах моніторингу ринкових аномалій.

Литература.

1. Cont R., Stoikov S., Talreja R. A stochastic model for order book dynamics // Operations Research. – 2010. – Vol. 58, № 3. – P. 549-563.
2. Easley D., López de Prado M., O'Hara M. The Volume Clock: Insights into the High Frequency Paradigm // The Journal of Portfolio Management. –

2012. – Vol. 39, № 1. – P. 19-29.
3. Hasbrouck J., Saar G. Technology and liquidity provision: The blurring of traditional definitions // Journal of Financial Markets. – 2009. – Vol. 12, № 2. – P. 143-172.
4. Blandy J., Orendorff J., Tindall L. Programming Rust: Fast, Safe Systems Development. – 2nd ed. – O'Reilly Media, 2021. – 736 p.
5. Fette I., Melnikov A. The WebSocket Protocol: RFC 6455 [Electronic resource] // Internet Engineering Task Force (IETF). – 2011. – URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6455.

СЕКЦІЯ 2.
КОМП`ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004.85:004.738.5

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33751

КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕБТРАФІКУ HTTP/HTTPS-ЗАПИТІВ

Стрелковська І.В., д.т.н., професор,
Міжнародний університет,
i.strelkovskaya@mgu.edu.ua
Соловська І.М., к.т.н., доцент,
Міжнародний університет,
i.solovskaya@mgu.edu.ua,
Стрелковська Ю.О., к.ю.н., доцент
Worthing college
4800632s@gmail.com

Анотація. *Розглянуто задачу класифікації вебтрафіку до нормального (еталонного) або аномального (шкідливого) вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів. Встановлено, що для класифікації вебтрафіку доцільним є використання методів машинного навчання (ML-методів). Запропоновано використання для класифікації вебтрафіку методу k-найближчих сусідів KNN та Байєсівського методу. Отримані результати можуть бути використаними в системах моніторингу вебтрафіку та раннього попередження аномалій вебресурсів.*

Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується стрімким зростанням обсягів вебтрафіку, класифікація якого зазвичай виконується за інтенсивністю трафіку, коли визначаються характеристики інтенсивності нормального та аномального трафіку. Особливої актуальності класифікація набуває в умовах зростання кількості DDoS-атак, спроб несанкціонованого доступу до вебресурсів, поширення шкідливого програмного забезпечення та інших аномалій. Використання методів машинного навчання Machine learning (ML) для класифікації вебтрафіку дозволяє виконувати обробку великих обсягів мережевих даних та гнучко адаптуватися до змін характеристик вебтрафіку, забезпечуючи точність класифікації та здатність до самонавчання.

На відміну від розглянутих в роботі [1-3] традиційних сигнатурних підходів до класифікації трафіку, коли використовуються відомі «сигнатури» трафіку – шаблони легітимного або шкідливого трафіку для порівняння та визначення аномалії, ML-методи класифікації здатні виявляти аномалії вебтрафіку на основі отриманих характеристик аналізу

трафіку, що є критично важливим для сучасних систем моніторингу та виявлення вторгнень.

Використання ML-методів для класифікації вебтрафіку розглянуто в роботах [4-7], авторами встановлено, що в умовах зростання обсягів вебтрафіку та відповідного зменшення ефективності традиційних методів, ML-методи мають перевагу. Однак, результати використання таких методів не завжди є придатними для практичної реалізації, коли метод класифікації визначається для заданого сервісу або додатку, тому в разі появи нового вебресурсу або вебсервісу, визначений алгоритм класифікації потребує зміни.

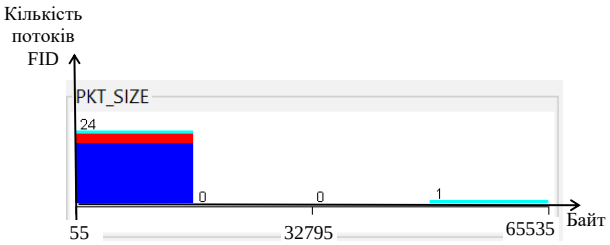
Метою даної роботи є використання методів машинного навчання для класифікації вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів з метою визначення аномалій трафіку спричинених DDoS-атаками.

Дослідження вебтрафіку виконано на базі датасету [8] з відкритого ресурсу https://www.kaggle.com результатів моніторингу трафіку, до яких віднесено інтенсивності HTTP/HTTPS-запитів (GET або POST), середній розмір HTTP/HTTPS-запитів та загальний обсяг переданих даних. Фрагмент вихідних даних датасету наведено у табл. 1.

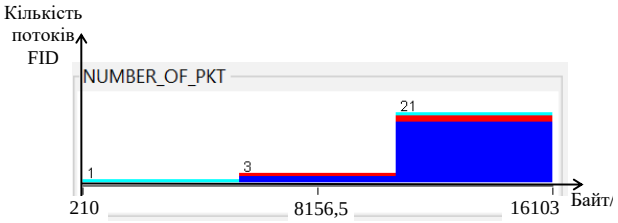
Таблиця 1 – Фрагмент даних датасету вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів

Ідентифікатор мережевого потоку FID	Середній розмір HTTP/HTTPS-запитів PKT_SIZE, байт	Інтенсивність трафіку PKT_RATE, байт/с	Загальний обсяг переданих даних NUMBER_OF_BYTE, байт
FID 1	65535.0	1 519 660	13 762 400
FID 2	55.0	18 056	1 770 010
FID 3	797.5	261 790	25 665 105
FID 4	797.5	261 772	25 665 105
FID 5	1540.0	505 455	24 780 100

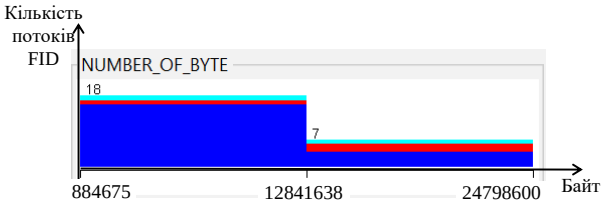
Для класифікації характеристик вебтрафіку, які задані в табл. 1, використано програмне середовище Weka 3.8.6 [9], результати аналізу характеристик вебтрафіку наведені на рис. 1. Аналіз значень інтенсивності трафіку PKT_RATE та BYTE_RATE та показника UTILIZATION дозволяє зробити висновки про наявність показових ознак, до яких відносяться пікові значення інтенсивності (наприклад, FID 1 та FID 5), створені HTTP/HTTPS-запитами.



а) середній розмір пакета PKT_SIZE



б) інтенсивність трафіку PKT_RATE



в) загальний обсяг переданих даних NUMBER_OF_BYTE

Рисунок 1 – Результати аналізу вебтрафіку за допомогою Weka 3.8.6

Для вирішення завдання класифікації вебтрафіку використаємо методи машинного навчання – метод k-найближчих сусідів kNN (k-nearest neighbour) та Байєсівський метод [10]. Метод k-найближчих сусідів виконує класифікацію для двох класів вебтрафіку, нормального та аномального, тоді множина класів має вигляд $H = \{H_0; H_1\}$, де H_0 – належність вебтрафіку до класу нормального (еталонного) трафіку HTTP/HTTPS-запитів, а H_1 – належність вебтрафіку до класу аномального (шкідливого) трафіку HTTP/HTTPS-запитів. Кожен зразок вебтрафіку описується вектором характеристик $a = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$, де N – кількість характеристик HTTP/HTTPS-запитів. Відстань $d(u,x_j)$ між тестовим зразком u та j-тим навчальним зразком x_j визначається як [10]:

$$d(u,a_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (u_i - a_{j,i})^2}, \quad (1)$$

де $u_i = (u_{1,i}, u_{2,i}, \ldots, u_{N,i})$ – i-та характеристика тестового зразка, $a_i = (a_{1,i}, a_{2,i}, \ldots, a_{N,i})$ – i-та характеристика j-того навчального зразка.

Клас, до якого належить тестовий зразок u, визначається за правилом зваженого голосування серед k-найближчих сусідів:

$$a(u) = \arg\min_{c \in C} \sum_{j \in N_k^c(u)} \omega(j,u)\ d(u,x_j), \quad (2)$$

де H – множина класів, $N_k^c(u)$ – множина k-найближчих сусідів класу H, $\omega(j,u)$ – вагова функція j-го сусіда, де $\omega(j,u)=[j \le k]$.

Байєсівський метод класифікації використовує формулу Байєса, яка дозволяє обчислити апостеріорну ймовірність належності трафіку до нормального (еталонного) або аномального (шкідливого) вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів за наявними характеристиками вебтрафіку [10]:

$$P(H_i / A) = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{\sum_{k=1}^{N} P(H_k)P(A/H_k)}, \; i = 1,2, \qquad (3)$$

де H_i – гіпотеза про належність вебтрафіку до i-го класу, i = 1,2; N – кількість характеристик вебтрафіку; a = (a_1, a_2, …, a_N) – вектор характеристик трафіку HTTP/HTTPS-запитів, який може включати інтенсивності трафіку, середній час затримки HTTP/HTTPS-запитів, загальну кількість HTTP/HTTPS-запитів, тощо; $P(H_i)$ – апріорна ймовірність класу вебтрафіку H_i, i=1,2, де H_0 – належність вебтрафіку до класу нормального (еталонного) трафіку HTTP/HTTPS-запитів, а H_1 – належність вебтрафіку до класу аномального (шкідливого) трафіку HTTP/HTTPS-запитів; $P(A/H_i)$ – умовна ймовірність спостереження вектора характеристик трафіку A за умови нормального чи аномального вебтрафіку за умови належності характеристикам трафіку до класу H_i; $P(H_i / A)$ – апостеріорна ймовірність належності вебтрафіку до класу H_i.

Для визначення класу трафіку використовується вираз:

$$\arg \max_i P(H_i / A), \qquad (4)$$

тобто, вебтрафік HTTP/HTTPS-запитів відноситься до того класу, для якого апостеріорна ймовірність є максимальна.

Висновки. Отримані значення класифікації вебтрафіку до нормального (еталонного) або аномального (шкідливого) вебтрафіку HTTP/HTTPS-запитів з використанням методу k-найближчих сусідів kNN (k-nearest neighbour) та Байєсівського методу дозволяють виконати оцінку похибок та бути використаними в системах моніторингу та раннього попередження аномалій, спричинених DDoS-атаками або мережевими аномаліями вебресурсів.

Література

1. Стрелковська І.В., Соловська І.М., Стрелковська Ю.О. Детектування Flood-трафіку кібератак на Веб-сервери. Детектування Flood-трафіку кібератак на Веб-сервери. Measuring and computing devices in technological processes, 84(4), 203-210.
2. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. Detection of cyberattack flood traffic using spline approximation. Scientific achievements of contemporary society. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2024. pp. 21-27.
3. Strelkovskaya I., Kivalov S. «Detection and prediction of DDoS cyber attacks using spline functions», IEEE TCSET 2022: 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 22-26, 2022. – P. 710-713.
4. Підгорний, П. (2024). Аналітичний огляд моделей і систем класифікації мережевого трафіку. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(26), 155-169.
5. T. Radivilova, L. Kirichenko, O. Lemeshko and all, "Analysis of anomaly detection and identification methods in 5G traffic," 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2021.
6. Петляк Н. Аналіз моделей виявлення аномалій трафіку в сучасних інформаційно-комунікаційних системах та мережах. Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2025. – Вип. 1, С. 180-186.
7. Ветлицька, О. С., Треньова, К. О. (2024). Виявлення атак у мережах Інтернету речей методами машинного навчання. Сучасний захист інформації, 1(57), 39–49.
8. Набори датасет для дослідження Kaggle: https://www.kaggle.com
9. Програмне забезпечення для машинного навчання Weka: https://ml.cms.waikato.ac.nz/weka/
10. Strelkovskaya I., Solovskaya I. and Strelkovska J. Comparative analysis of local positioning methods in Wi-Fi/Indoor networks. Proceedings of International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIT-2023), Vol. 11, Is. 1, Koethen, Germany, March, 9, 2023. – Anhalt University of Applied Sciences. – pp. 31-35.

УДК 004.85:616.1-073.7

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33752

МОДУЛЬНА АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РОЗМЕЖУВАННЯ СУДИН КРОВОНОСНОГО ТА ЛІМФАТИЧНОГО РУСЛА ЗА ДАНИМИ МЕДИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Пономарчук Валерій Юрійович
здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня
спеціальності F6 – Інформаційні системи та технології
Національний ТУ «Дніпровська політехніка»
Ponomarchuk.V.Y@nmu.one
Сергєєва Катерина Леонідівна
кандидат технічних наук, доцент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка»
Sergieieva.K.L@nmu.one
Булана Тетяна Михайлівна
кандидат технічних наук, доцент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка»
Bulana.T.M@nmu.one
Молодець Богдан Володимирович
доктор філософії (інформаційні технології), доцент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка»
Molodets.B.V@nmu.one

Анотація. *Запропоновано модульну архітектуру інформаційної технології, що автоматизує розмежування судин кровоносного і лімфатичного русла за даними медичної візуалізації і призначена для підтримки передопераційного планування в онкоурології. У межах єдиного конвеєра з шести модулів технологія поєднує оптимальні модальності отримання зображень із нейромережевим аналізом. Модулі розподілено між передопераційним та інтраопераційним етапами й доповнено спільною підсистемою навчання. Основну увагу приділено системно-інженерним аспектам архітектури, а саме організації потоку даних, стандартизації інтерфейсів між модулями та реалізації принципу поліморфізму, який забезпечує заміннність компонентів і поетапне впровадження технології.*

Тазова лімфодисекція може спричиняти післяопераційні ускладнення, зокрема симптоматичне лімфоцеле, яке виникає внаслідок пошкодження лімфатичних судин у 7,4% пацієнтів. Через подібну морфологію та схожу щільність лімфатичних і кровоносних судин, візуальне розрізнення цих структур на КТ- та МРТ-зображеннях лишається складною задачею. Проблематика полягає в тому, що надійних автоматизованих систем такої диференціації досі не створено [1]. Це

обумовлює потребу в розробці інформаційної технології, яка інтегрує засоби візуалізації та методи глибокого навчання у єдиний робочий процес.

Запропонована технологія (рис. 1), що складається з шести модулів, згрупованих у два операційні етапи зі спільним модулем навчання. Оскільки жодна окрема модальність не задовольняє всіх вимог хірургічного планування одночасно, модуль отримання зображень приймає дані з двох джерел, визначених як оптимальні за результатами багатокритеріального аналізу AHP-TOPSIS [1,2]. До цих джерел належать контрастно-підсилена МРТ-лімфангіографія (CEMRL) для передопераційного тривимірного картування та фотоакустична візуалізація (PAI) чи флуоресцентна лімфографія (NIRF-L) для навігації в реальному часі.

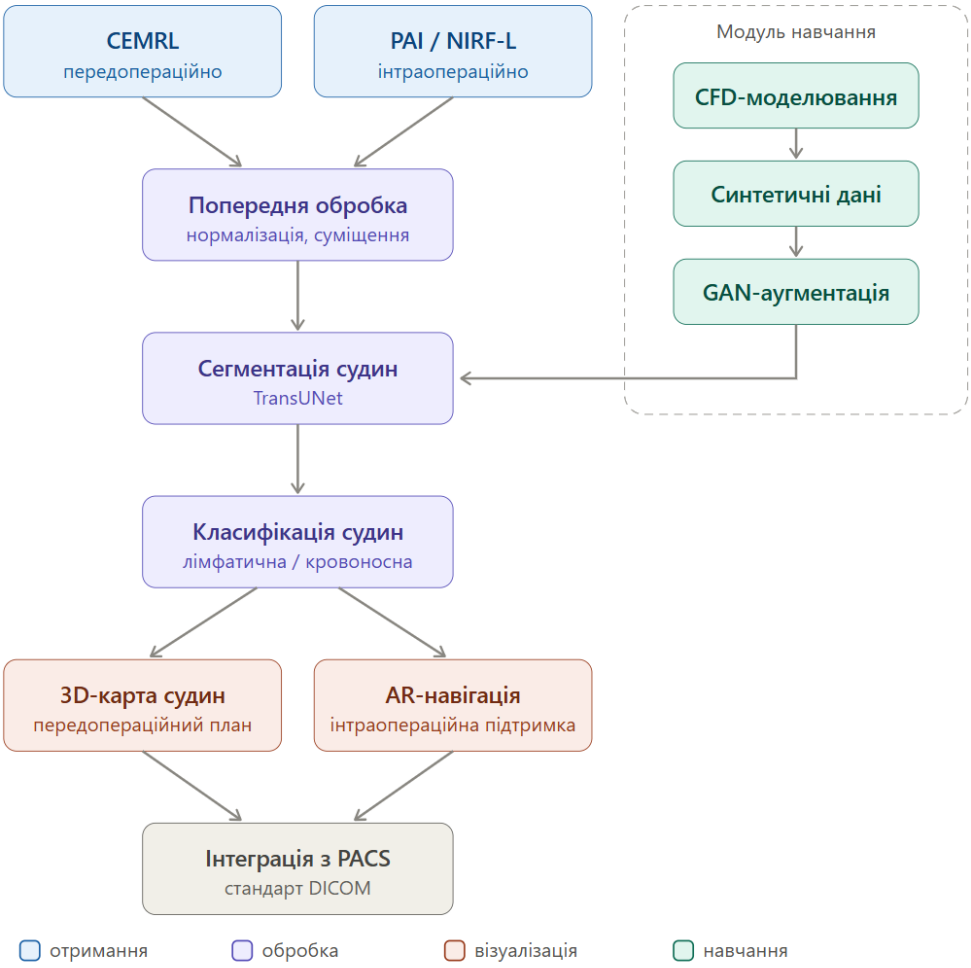


Рисунок 1 – Модульна архітектура інформаційної технології диференціації судин

Ядром технології є модуль сегментації на основі гібридної трансформерної архітектури TransUNet [3]. Ця архітектура поєднує згортковий кодувальник для захоплення локальної морфології стінок судин із механізмом самоуваги для врахування глобальної топології

судинної мережі. Модуль класифікації присвоює кожній сегментованій структурі мітку «лімфатична» або «кровоносна» на основі сукупності морфологічних, контрастно-динамічних і спектральних ознак, а завершальний модуль візуалізації будує тривимірну карту судин і забезпечує інтраопераційну AR-навігацію.

Запропоновано архітектурне рішення, що передбачає стандартизацію форматів обміну даними між модулями інформаційної технології та дозволяє інтегрувати результати різних методів медичної візуалізації в єдиний робочий процес (рис. 2).

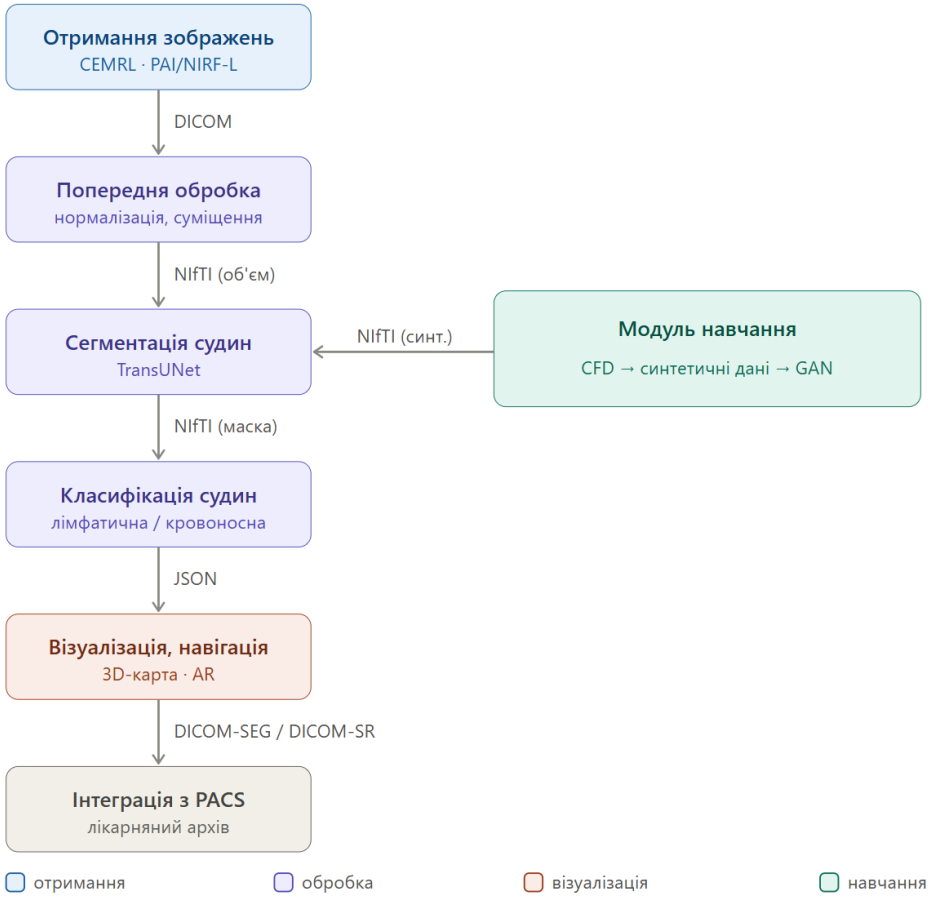


Рисунок 2 – Потік даних між модулями зі стандартизованими форматами обміну

Модуль отримання зображень постачає дані у форматі DICOM, як у галузевому стандарті медичного обладнання [4]. Модуль попередньої обробки конвертує їх у формат NIfTI, зручний для роботи з тривимірними зображеннями у нейромережевих конвеєрах, і виконує нормалізацію інтенсивності та просторове суміщення зображень різних модальностей у єдину систему координат [5]. Модуль сегментації оперує зображеннями NIfTI та повертає маску того самого формату. Результати класифікації передаються у структурованому форматі JSON, тоді як модуль візуалізації споживає одночасно об'ємну маску (NIfTI) і метадані (JSON) для побудови

кольорової тривимірної карти й накладання доповненої реальності. Інтеграцію з PACS реалізовано через два спеціалізовані типи об'єктів того самого стандарту, адже звичайні об'єкти DICOM переносять лише піксельні дані знімка, отже не підходять для поставленої задачі [4]. Об'єкт DICOM-SEG (Segmentation Storage) зберігає маску сегментації як окремий воксельний об'єкт із мітками, пов'язаний посиланням із вихідною серією зображень, завдяки чому результат лишається окремим редагованим шаром дослідження. Об'єкт DICOM-SR (Structured Report) кодує результати класифікації, а саме тип судини, набір ознак і рівень впевненості, у машиночитаному вигляді з кодованими термінами, придатному для індексації та запитів у клінічному архіві, на відміну від довільного текстового опису.

Опора на стандартні формати забезпечує слабку зв'язність (loose coupling) компонентів: модулі взаємодіють лише через контракт даних, а не через внутрішні деталі один одного. Такий контракт задається схемою даних. Наприклад, JSON-повідомленням модуля класифікації з полями типу судини, набору ознак, рівня впевненості та посилання на маску (рис. 3).

```json
{
  "vessel_id": 128,
  "type": "lymphatic",
  "features": {
    "wall_thickness": 0.4,
    "lumen_diameter": 1.8,
    "contrast_dynamics": "slow",
    "spectral_ratio": 0.72
  },
  "confidence": 0.91,
  "mask_ref": "seg_0128.nii.gz"
}
```

Рисунок 3 – Приклад JSON-повідомлення, яке модуль класифікації формує для кожної сегментованої судини

Наслідком контрактного визначення інтерфейсів є поліморфізм обчислювальних модулів. Модуль сегментації спроєктовано поліморфним, тож будь-яка реалізація, що відповідає контракту «зображення NIfTI на вході – маска NIfTI на виході» взаємозамінна. До таких реалізацій належать базова U-Net, Attention U-Net і гібридна трансформерна модель TransUNet, які підключаються без зміни решти конвеєра [3]. Аналогічно модуль навчання є окремою підсистемою, відокремленою від виконавчого конвеєра. Модуль генерує синтетичні тренувальні зображення засобами обчислювального моделювання руху рідини (CFD) з подальшою аугментацією генеративно-змагальними мережами, та постачає їх модулю сегментації. Працездатність генерації навчальних вибірок із синтетичних даних для судинних мереж підтверджено для кровоносних судин мережею VAN-GAN [6].

Висновки. Системно-інженерний погляд на технологію диференціації судин показує, що її практична цінність визначається окремою модальністю, нейромережевою архітектурою, та способом їх інтеграції у безперервний потік від передопераційного планування до інтраопераційної навігації. Модульна структура з уніфікованими інтерфейсами на основі стандартних форматів, реалізацією поліморфізму та відокремленим модулем навчання на синтетичних даних робить технологію придатною до поетапного впровадження й незалежного вдосконалення компонентів. У подальшій роботі передбачається реалізація та експериментальне порівняння базових U-Net, Attention U-Net і TransUNet для задачі розрізнення двох типів судин з цільовою точністю класифікації не менше ніж 85%.

Література

1. Пономарчук В.Ю., Сергєєва К.Л. Перспективи створення інформаційної технології диференціації лімфатичних і кровоносних судин на медичних зображеннях для планування онкоурологічних втручань. Електротехнічні та інформаційні системи. 2026. №109. С. 65-78. https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-9
2. van Heumen S., et al. Imaging of the lymphatic vessels for surgical planning: A systematic review. Annals of Surgical Oncology. 2023. V. 30, №1. P. 462-479. https://doi.org/10.1245/s10434-022-12552-7
3. Chen J., et al. TransUNet: Transformers make strong encoders for medical image segmentation. arXiv. 2021. arXiv:2102.04306. https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.04306
4. DICOM PS3.1 2026c – Introduction and Overview. NEMA. 2026. Available at: https://www.dicomstandard.org/ – Дата звернення: 05.07.2026.
5. NIfTI-1 Data Format. Neuroimaging Informatics Technology Initiative. Available at: https://nifti.nimh.nih.gov/nifti-1 – Дата звернення: 05.07.2026.
6. Sweeney P.W., et al. Unsupervised segmentation of 3D microvascular photoacoustic images using deep generative learning. Advanced Science. 2024. V. 11, №32. e2402195. https://doi.org/10.1002/advs.202402195

УДК 629.4:519.6

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33753

НЕЛІНІЙНО-ДИНАМІЧНІ ТА ФРАКТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ШУМУ В СИГНАЛАХ РІВНЯ ПАЛИВА МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ

Іващев Д. В.
ДНУ ім. Олеся Гончара, Дніпро, Україна
ivashchev_d@365.dnu.edu.ua
Герасимов В. В.
канд. техн. наук, доцент
ДНУ ім.і Олеся Гончара, Дніпро, Україна
herasymov_v@365.dnu.edu.ua

Анотація. *Досліджено нелінійно-динамічні та фрактальні властивості шуму в сигналах рівня палива шести маневрових локомотивів. Використано R/S-регресію, детрендований флуктуаційний аналіз DFA на кількох діапазонах масштабів, мультифрактальний DFA, метод Розенштейна та рекурентний аналіз RQA. З'ясовано, що флуктуаційна функція DFA має чіткий кросовер: на малих масштабах шум демонструє помірну персистентність, узгоджену з раніше встановленою високою короткостроковою автокореляцією шуму, а на великих масштабах виходить на плато, що відповідає стаціонарності, підтвердженій тестами ADF і KPSS. При цьому шум має мультифрактальну природу, важкі хвости розподілу й виражену рекурентну структуру. Результати узгоджуються з раніше встановленими характеристиками цього шуму і доповнюють їх багатомасштабним аналізом.*

Актуальність та огляд існуючих рішень. У попередній роботі [1] встановлено, що шум рівня палива має високу короткострокову автокореляцію (0,93–1,0) і переважно «коричневий» спектральний характер, а класичні тести стаціонарності на використаній там вибірці здебільшого вказують на нестаціонарність. Ці висновки отримано на основі характеристик шуму в межах короткого часового лагу та окремих сегментів. Ця робота не заперечує зазначені результати, а розширює аналіз за допомогою багатомасштабних методів — перевіряється, чи зберігається персистентність шуму однаковою на різних часових масштабах, чи має вона перехідну, кросоверну, структуру.

Мета дослідження. Перевірити, чи однакова персистентність шуму рівня палива на різних часових масштабах, чи має вона перехідну структуру, а також узгодити результати багатомасштабного аналізу з раніше встановленими характеристиками цього шуму [1].

Методи. Статистичні властивості сигналу — це його середнє значення, розмах коливань (дисперсія) і характер зв'язку між сусідніми точками. Якщо ці властивості не змінюються з часом, процес називають

стаціонарним [2]. Дані для аналізу підготовлено із застосуванням розробленого раніше алгоритму сегментації [3]. Тому додатково застосовано такі методи:

- регресійний показник Херста за кількома масштабами [4] — оцінює персистентність шуму: чи зберігається напрямок попередньої зміни рівня палива, чи ні;
- детрендований флуктуаційний аналіз DFA [4] — відповідає на те саме питання, але для кількох окремих діапазонів масштабів; це дозволяє виявити можливий кросовер — зміну характеру персистентності шуму зі збільшенням масштабу, яку єдиний показник для всього діапазону масштабів приховує;
- мультифрактальний DFA [4] — перевіряє, чи однакова персистентність шуму в усі моменти часу, чи вона різна для сильних і слабких коливань;
- фрактальна розмірність Хігучі [5] — показує, наскільки звивиста крива шуму, за шкалою від 1 до 2: значення близько 1 означає криву, схожу на пряму лінію, значення близько 2 — дуже покручену, хаотичну криву. Метод обчислення інший, ніж у Херста й DFA, тому дає незалежну перевірку тих самих висновків;
- показник Ляпунова методом Розенштейна [5] — перевіряє, чи розходяться з часом дуже близькі між собою стани сигналу; дає відповідь, чи є в шумі прихована детермінована динаміка — тобто закономірність, яка лише виглядає як випадковість, а не випадковість;
- рекурентний аналіз RQA [5] — виявляє, чи повторюються в сигналі одні й ті самі структурні патерни; дає пряму перевірку гіпотези «це звичайний шум», оскільки випадковий шум майже не утворює стійких повторень;
- тести ADF і KPSS — формально перевіряють стаціонарність статистичних властивостей шуму в часі; тест Колмогорова–Смирнова — чи відповідає розподіл нормальному шуму (гаусовому);
- індекс Хілла — оцінює, як часто трапляються рідкісні, але дуже великі викиди (важкі хвости розподілу); дає відповідь, чи потрібно окремо враховувати різкі стрибки рівня палива при фільтрації сигналу.

Результати. Регресійний показник Херста становив 0,45–0,54, у середньому 0,49 для всіх шести локомотивів — рівень, близький до випадкового блукання, якщо оцінювати персистентність шуму в цілому, без розбиття на масштаби.

Флуктуаційна функція DFA, однак, демонструє чіткий кросовер. На малих масштабах (до ~1000 відліків) вона швидко зростає: нахил (DFA-α) на цій ділянці становив 0,35–0,55 для різних локомотивів — помірна персистентність, яка узгоджується з високою короткостроковою автокореляцією цього шуму, встановленою раніше [1] (0,93–1,0). На великих масштабах (від ~1000 до 300 000 відліків) флуктуаційна функція виходить на плато: нахил тут близький до нуля (0,00–0,01), тобто кореляції в шумі не тримаються необмежено довго, а мають скінченну довжину. Якщо оцінювати DFA-α єдиним нахилом по всьому діапазону масштабів без урахування цього кросоверу, виходить занижене значення (0,11–0,24) — воно відображає сам факт наявності кросоверу, а не антиперсистентну поведінку шуму, і тому непридатне для прямої змістовної інтерпретації. Слід зазначити методичне обмеження: шум виділявся як відхилення від ковзного середнього для всього ряду локомотива одразу, без окремого підбору вікна для кожного сегмента, тому коротко масштабна частина кросоверу частково може бути пов'язана з межами сегментів (стоянка/рух/заправка), а не лише з власною динамікою шуму.

Скінченна довжина кореляції узгоджується з тестами ADF і KPSS, які підтверджують стаціонарність шуму в межах сегмента, і водночас не суперечить високій автокореляції на короткому лазі, встановленій раніше [1]: короткострокова персистентність і стаціонарність на довших масштабах описують той самий шум на різних часових горизонтах, а не взаємовиключні властивості.

Ширина мультифрактального спектра становила 4,55–6,26, у середньому 5,09, що підтверджує мультифрактальну, тобто неоднорідну в часі, статистичну природу шуму. Фрактальна розмірність Хігучі становила 1,41–1,61 — проміжне значення між гладкою кривою з розмірністю 1,0 (така крива подібна до звичайної прямої лінії без різких зламів) і максимально нерегулярною кривою з розмірністю 2,0 (крива настільки звивиста, що фактично заповнює площину). Рекурентний аналіз RQA показав детермінізм 0,9999–1,000 та ламінарність 0,9995–1,000 для всіх шести локомотивів, що свідчить про наявність стійкої повторюваної структури в динаміці сигналу; оскільки ці два показники практично не відрізняються між локомотивами, у таблицю їх не включено. Показник Ляпунова виявився малим додатним, 0,0011–0,0016, що відповідає слабко вираженому детермінованому хаосу. Тест Колмогорова–Смирнова відхилив гіпотезу нормальності розподілу шуму для всіх шести локомотивів — це узгоджується з раніше встановленою невідповідністю шуму нормальному розподілу для більшості сегментів. Індекс Хілла, у середньому 0,72, вказав на важкі хвости розподілу, а спектральний нахил (від −0,77 до −1,52) підтвердив кольоровий, здебільшого близький до «коричневого», характер шуму — також узгоджено з [1].

Таблиця 1 – Нелінійно-динамічні показники шуму рівня палива за локомотивами

№	Херст R/S	DFA-α (n≤1000)	DFA-α (плато)	MFDFA ширина	Ляпунов	Хігучі	RQA рекуренція	Індекс Хілла
1	0,499	0,353	0,003	4,552	0,0013	1,525	0,989	0,818
2	0,539	0,547	0,005	5,835	0,0013	1,613	0,989	0,506
3	0,466	0,495	0,001	4,593	0,0014	1,528	0,974	0,606
4	0,501	0,351	0,001	4,740	0,0011	1,492	0,984	0,670
5	0,486	0,395	0,001	4,562	0,0014	1,546	0,973	0,658
6	0,448	0,469	−0,008	6,262	0,0016	1,412	0,979	1,058

Тести ADF і KPSS перевіряли стаціонарність статистичних властивостей шуму в межах одного сегмента сигналу. Обидва тести не обчислюють точне значення, а порівнюють статистику з табличними рівнями значущості; якщо результат виходить за межі таблиці, тест повертає межове значення. Для ADF (перевіряє гіпотезу «шум нестаціонарний») статистика виявилася за межею таблиці, тому рівень значущості зафіксовано на позначці 0,001. Для KPSS (перевіряє протилежну гіпотезу — «шум стаціонарний») статистика також виявилася за межею таблиці, тому рівень значущості зафіксовано на позначці 0,1. В обох випадках межове значення підтверджує гіпотезу про стаціонарність. Це стосується всіх шести локомотивів однаково, тож на висновок про стаціонарність це не впливає: обидва незалежні тести узгоджено підтверджують, що всередині одного сегмента шум стаціонарний. Це дозволяє застосовувати сегментний, а не глобальний підхід до подальшого моделювання.

Висновки. Отримані результати показують, що персистентність шуму рівня палива неоднакова на різних часових масштабах: на малих масштабах вона помірна й узгоджується з раніше встановленою високою короткостроковою автокореляцією цього шуму, а на великих масштабах флуктуаційна функція виходить на плато, що відповідає стаціонарності, підтвердженій тестами ADF і KPSS. Водночас шум характеризується мультифрактальністю, стійкою рекурентною структурою та важкими хвостами розподілу — властивостями, узгодженими з раніше встановленим кольоровим, негаусовим характером цього шуму [1]. Це обґрунтовує доцільність доповнення наявних методів обробки телеметрії рівня палива багатомасштабними нелінійними методами фільтрації.

Література

1. Іващев Д., Герасимов В. Аналіз шуму в даних вимірювання рівня палива на транспорті. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. № 83(3). С. 385–392. URL:

https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-47 (дата звернення: 02.07.2026).
4. Юрченко М.Є. Прогнозування та аналіз часових рядів: методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи. Чернігів: ЧНТУ, 2018. 88 с. URL: https://ir.stu.cn.ua/server/api/core/bitstreams/64ad3c4f-b8f2-4cd9-9ae2-ab2612f9c09f/content (дата звернення: 02.07.2026).
2. Іващев Д., Герасимов В. Алгоритм сегментації даних вимірювань рівня палива на транспорті. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. № 82(2). С. 419–425. URL: https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-60 (дата звернення: 02.07.2026).
3. Грінченко В.Т., Курилко О.Б., Маципура В.Т. Фрактальні властивості складних сигналів і випадкові хвилеві поля: навчальний посібник. Київ: Інститут гідромеханіки НАН України; Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2020. 120 с. URL: https://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/03/posibnyk-hrinchenko-kurylko-matsypura.pdf (дата звернення: 02.07.2026).
5. Сердюк О.О. Сучасні методи дослідження нелінійних динамічних систем: посібник. Краматорськ: ДДМА, 2018. 120 с. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/avp/metod/Сучасні%20методи%20досліджень%20Посібник.pdf (дата звернення: 02.07.2026).

УДК 004.9:631.4

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33754

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПОЛІВ «WHEATMON»

Сукач Уляна Анатоліївна
здобувачка 1 курсу першого (бакалаврського) рівня
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет
uliasukach2007@gmail.com
Паскалов Марк Дмитрович
здобувач 1 курсу першого (бакалаврського) рівня
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет
paskalovmarkus@gmail.com
Русу Олександр Петрович
науковий керівник, кандидат технічних наук, доцент
Міжнародний університет
e-mail-advisor@email.com

Анотація. *У роботі представлено опис архітектури та функціональних можливостей автоматизованої системи інтелектуального моніторингу сільськогосподарських угідь «Wheatmon». Проєкт розроблено на базі сучасного вебфреймворку Django із впровадженням алгоритмів штучного інтелекту для розпізнавання стану рослин. Система дозволяє своєчасно виявляти ознаки стресу посівів, захворювання та дефіцит вологи за допомогою аналізу зображень надвисокої чіткості (4K), що мінімізує негативний вплив людського фактора при ручному обході полів.*

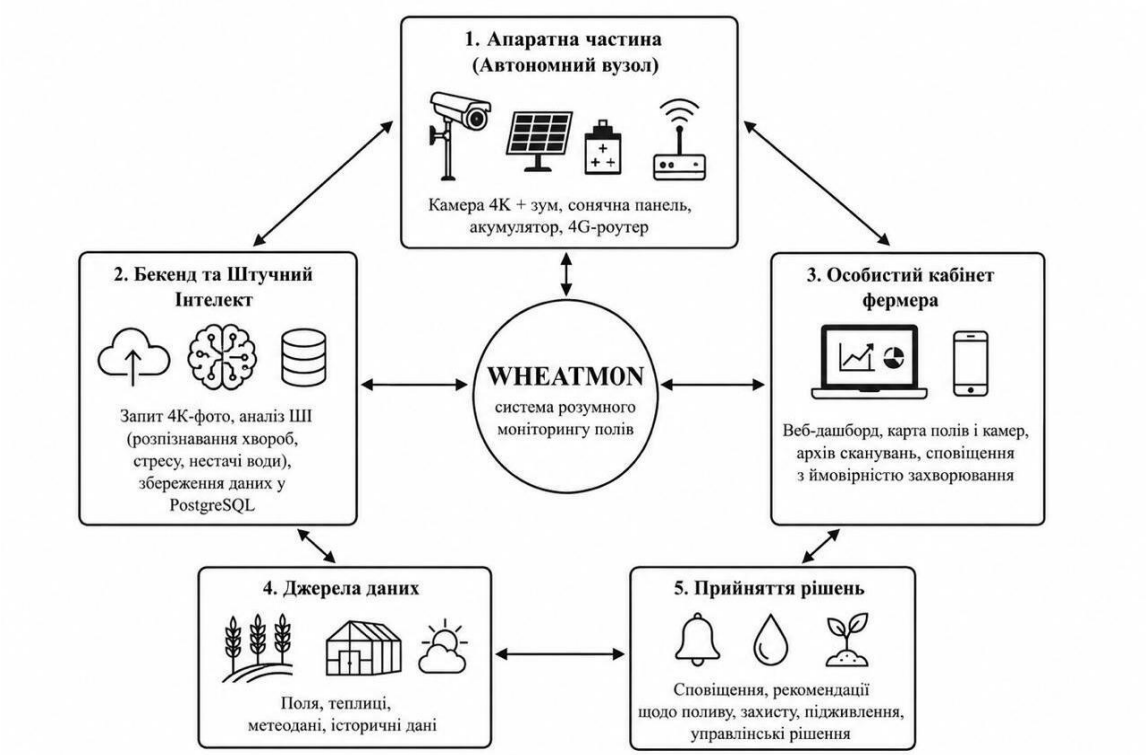


Рисунок 1 – Структурна схема системи «Wheatmon»

Майже у кожного фермерського господарства в Україні є посівні площі, які потребують регулярного догляду. Однак аналіз діяльності агропідприємств показує, що ефективний контроль стану культур на великих територіях забезпечується далеко не завжди. Такі результати обґрунтовані насамперед фактором ручного моніторингу – коли через значні масштаби поля фахівці просто не в змозі фізично обійти всі ділянки та вчасно помітити ознаки стресу рослин. Людський фактор при візуальному огляді часто призводить до того, що перші симптоми хвороб або нестачі вологи ігноруються або виявляються занадто пізно. У багатьох випадках віддалені частини полів можуть тижнями залишатися без належної перевірки, оскільки ручні методи обходу є надто трудомісткими та повільними.

Враховуючи це, викладачі та здобувачі факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету розпочали стартап «Wheatmon» – систему моніторингу полів. Система розроблена на основі вебфреймворку Django. Вона передбачає створення автоматизованої системи моніторингу стану полів за допомогою штучного інтелекту. Базова версія системи має камеру для отримання зображень поля, серверну частину зі штучним інтелектом та вебзастосунок для фермера. Система аналізує фото посівів, визначає можливі проблеми рослин: захворювання, зневоднення та інші негативні чинники. Після виявлення вищесказаних проблем, надсилає результати користувачу у зручному форматі та надає рекомендації для поліпшення ситуації з рослиною.

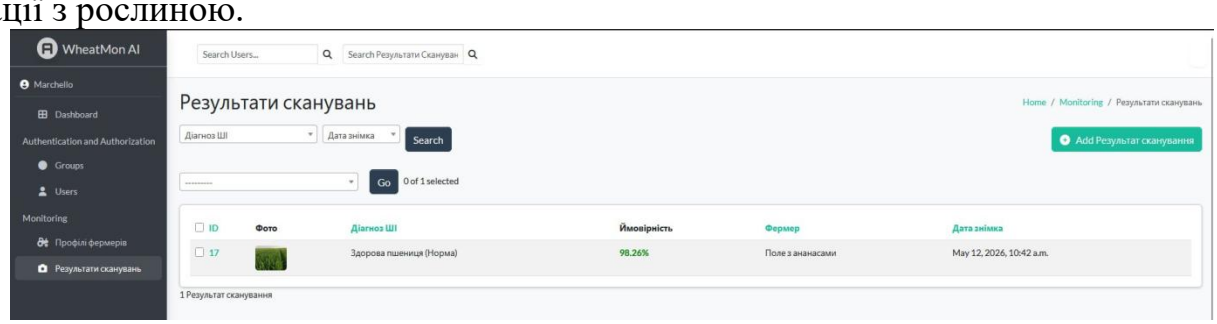


Рисунок 2 – Кабінет фермера

Система «Wheatmon» підтримує збереження історії аналізів, формування рекомендацій та сповіщення про можливі загрози для врожаю. Перевагами системи є автоматичний аналіз стану посівів за допомогою штучного інтелекту, швидке виявлення захворювань рослин та інших стресів, зручний доступ до результатів аналізу через особистий кабінет фермера, можливість збереження історії перевірок та зменшення часу на перевірку полів.

У майбутньому проєкт «Wheatmon» можна буде вдосконалити та додати більше корисних функцій. Наприклад, система зможе прогнозувати врожайність та автоматично давати поради фермеру щодо догляду за полем. Крім цього, може бути створений мобільний застосунок зі сповіщеннями в реальному часі.

Висновки. Розроблена система розумного моніторингу полів «Wheatmon» дозволяє суттєво автоматизувати процес контролю за станом посівних площ. Завдяки інтеграції нейромережевих моделей та вебфреймворку Django, агропідприємства отримують інструмент для швидкого реагування на виклики, пов'язані із захворюваннями культур та кліматичними змінами, що сприяє загальному відновленню та розвитку аграрного сектору України.

Література

1. Вебфреймворк Django. URL: https://www.djangoproject.com/
2. Офіційний сайт компанії Fermata. URL: https://www.fermata.tech/

УДК 004.738.5:004.4

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33755

СТВОРЕННЯ SPA-ВЕБСАЙТУ УПРАВЛІННЯ СПИСКОМ ЗАВДАНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ REACT ТА ПАТЕРНА MVC

Соловська І.М., к.т.н., доцент,
Міжнародний університет,
i.solovskaya@mgu.edu.ua,
Жданова А.О.
Бакалавр зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,
Міжнародний університет
zhd.angel@icloud.com

Анотація. *Розглянуто створення SPA-вебсайту управління списком завдань із використанням фреймворку React та патерна MVC. Проведено аналіз існуючих систем управління списком завдань та виконано порівняльний аналіз фреймворків React, Angular і Vue.js. Визначено особливості архітектури SPA-застосунків та спроєктовано компонентну структуру вебсайту для якої сформовані основні функціональні модулі. Розроблений SPA-вебсайт забезпечує додавання, редагування, видалення, перегляд і керування завданнями, підтримує маршрутизацію, локалізацію інтерфейсу, календарне подання та канбан-дошку. Проведене тестування розробленого SPA-вебсайту підтвердило коректність роботи основних функцій, включаючи створення, редагування, видалення, фільтрацію та відображення завдань у різних режимах. Запропонований підхід до створення SPA-вебсайту може бути використаний для розробки різних видів SPA-вебсайтів.*

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій односторінкові SPA-вебсайти (Single Page Application) набули широкого поширення завдяки високій швидкості роботи та зручності взаємодії з користувачем. Вони дозволяють оновлювати інтерфейс без повного перезавантаження сторінки, забезпечуючи ефективне використання ресурсів браузера, і активно застосовуються для створення вебсайтів управління даними, зокрема систем планування та керування завданнями. Для реалізації SPA-вебсайтів частіше використовуються JavaScript фреймворки, зокрема React, Angular і Vue.js з додатковим застосуванням TypeScript для перевірки коду та Tailwind CSS для стилізації. Сучасні вебсайти мають низку вимог до архітектури програмного забезпечення, зручності підтримки коду та масштабованості. Для забезпечення таких вимог використовується компонентний підхід у поєднанні з архітектурним патерном MVC (Model-View-Controller), що забезпечує розділення бізнес-логіки, даних та інтерфейсу вебсайту [1].

Системи управління списком завдань реалізуються як програмний інструмент планування, організації, пріоритизації та відстеження завдань від моменту створення до завершення. Завдання розміщуються в черзі за прикріпленими атрибутами та планувальник застосовує алгоритми FCFS (First Come First Served), EDF (Earliest Deadline First), PS (Priority Scheduling) для визначення послідовності обробки операцій і зберігаються у вигляді даних з фіксованим набором атрибутів, до яких належать назва, опис, строк виконання, періодичність повторення, статус виконання, мітки, вкладені файли та інші додаткові значення. Серед систем управління списком завдань слід відмітити Tweek, Any.do, Microsoft To Do, Todoist, TickTick, Jira, Trello та Worksection. Вони відрізняються собою інтерфейсом, набором функцій, способом організації даних і рівнем підтримки командної роботи. Частина систем підтримує календарне подання, підзавдання, вкладення, мітки, списки, проєкти або дошки. Спільною ознакою систем управління списком завдань є базування на хмарному сховищі або синхронізація через сервер, що дає змогу відкривати дані з різних пристроїв, а також наявність вебверсії або вебдоступу та застосунків для мобільних пристроїв [1-5].

Метою даної роботи є розробка SPA-вебсайту управління списком завдань з використанням фреймворку React та патерна MVC, який забезпечить гнучке додавання, редагування, видалення, перегляд і керування завданнями, підтримку маршрутизації календарне подання та канбан-дошку.

Для розробки SPA-вебсайту управління списком завдань проведено порівняльний аналіз бібліотеки React та фреймворків Angular і Vue.js [2-4], результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика фреймворків React, Vue.js та Angular

Показник	React	Vue	Angular
Тип інструменту	JavaScript-бібліотека для інтерфейсів	JavaScript-фреймворк для інтерфейсів	JavaScript/TypeScript -фреймворк для вебдодатків
Основна мова реалізації	JavaScript, TypeScript, JSX	JavaScript, TypeScript, HTML-шаблони	TypeScript
Архітектура інтерфейсу	Компонентна, відсутній єдиний шаблон проєкту	Компонентна, наявність шаблонів у .vue-файлах	Модульна, компоненти та сервіси у модулях
Вбудована маршрутизація	Відсутня, використовується React Router або аналоги	Вбудована через бібліотеку Vue Router	Вбудована через Angular Router
Керування станом	Redux, Zustand, Context API	Pinia, Vuex	Services, NgRx, Signals

Порівняльний аналіз фреймворків React, Angular та Vue.js (табл. 1)

показав, що вибір фреймворків визначається розміром проєкту та вимогами до його архітектури. Фреймворк Angular орієнтований на великі системи, де важлива структура модулів, наявність вбудованих інструментів для маршрутизації, форм та HTTP-запитів, а також чітке типізування коду. Фреймворк Vue.js реалізує компонентний підхід із можливістю поступової інтеграції у проєкт, що робить його придатним для проєктів невеликого та середнього розміру. Фреймворк React не накладає архітектурних обмежень, а додаткові функції (маршрутизація, керування станом) реалізуються за допомогою сторонніх бібліотек, що забезпечує гнучкість архітектури. Для розробки даного проєкту обрано React, оскільки він забезпечує компонентну модель побудови SPA-застосунку та можливість адаптації архітектури під вимоги проєкту [5-7].

Для побудови SPA-вебсайту управління списком завдань використана схема, показана на рис. 2.

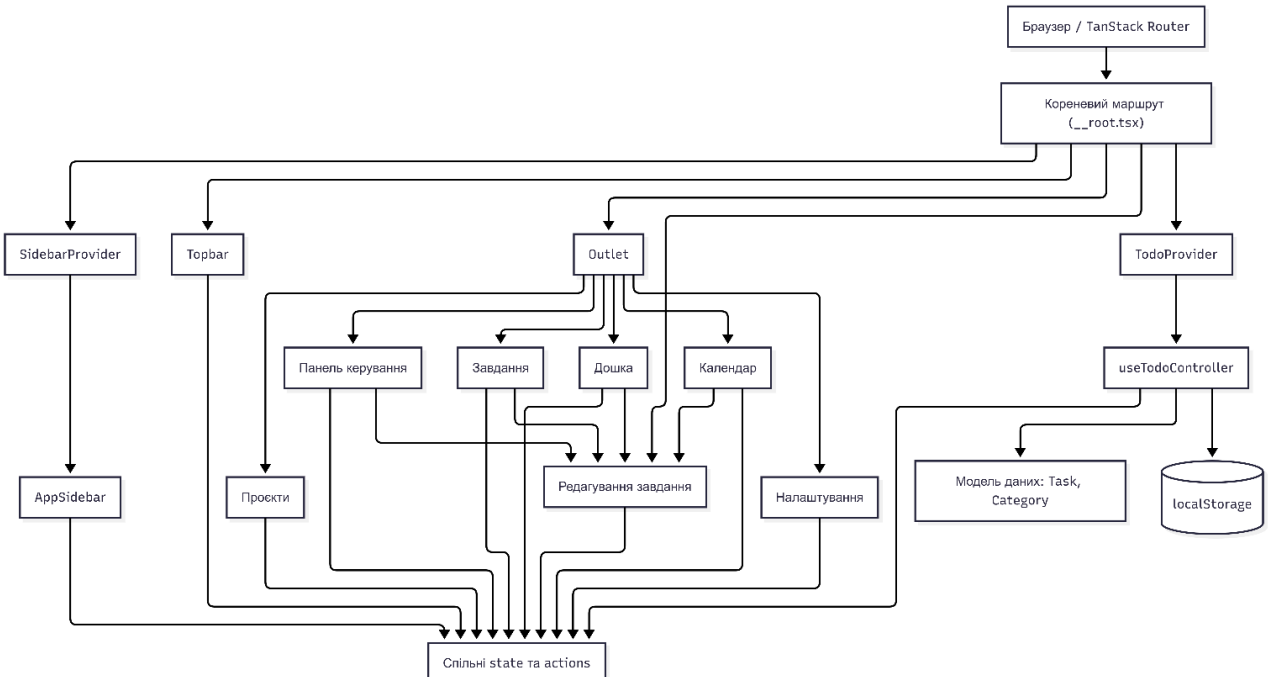


Рисунок 2 – Схема архітектури SPA-вебсайту управління списком завдань

Особливість побудови даної схеми складається з моделі даних у файлі model.ts, що містить структури даних та типи сутностей, бізнес-логіка та операції над даними реалізуються у файлі controller.ts. Рівень представлення формується компонентами інтерфейсу, розміщеними у директоріях components і routes, а центральним елементом архітектури є TodoProvider.tsx, який забезпечує глобальний стан застосунку на основі React Context API. Через useTodo() компоненти отримують доступ до спільного стану, що включає завдання, категорії, параметри пошуку та фільтрації, а також налаштування інтерфейсу. Кореневий компонент __root.tsx реалізує загальний layout застосунку і містить спільні інтерфейсні елементи: навігаційну панель AppSidebar, верхню панель

Topbar, динамічну область Outlet та глобальне модальне вікно EditModal. Через цей компонент забезпечується єдина структура сторінок та повторне використання загальних UI-елементів [7-9].

Навігаційна структура SPA-вебсайту, показана на рис. 3 надає функціональну архітектуру переходів між основними модулями системи та демонструє принцип організації маршрутизації в межах SPA-вебсайту.

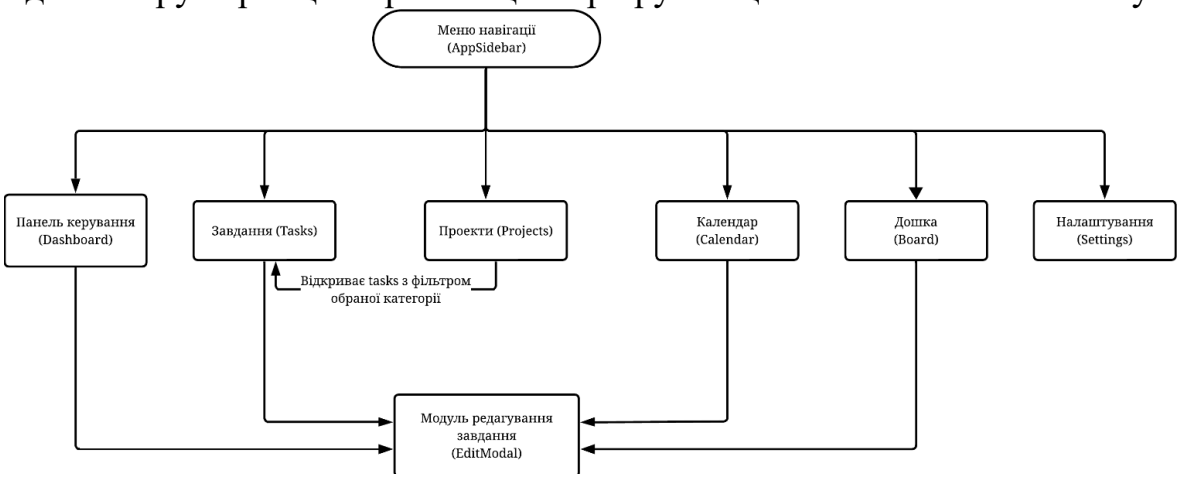


Рисунок 3 – Схема навігації та структура сторінок SPA-вебсайту управління списком завдань

Центральним елементом навігації є компонент AppSidebar, який забезпечує доступ до основних розділів вебсайту. Через навігаційну панель користувач може перейти до шести основних сторінок: Dashboard, Tasks, Projects, Board, Calendar та Settings. Додатково в інтерфейсі реалізовано глобальний модуль редагування завдання - компонент EditModal, який доступний з будь-якої сторінки без переходу на окремий маршрут, що активується зі сторінок Dashboard, Tasks, Board та Calendar, оскільки на них відображаються завдання, що підтримують редагування. Сторінка Projects має додатковий зв’язок зі сторінкою Tasks, при виборі категорії застосовується фільтрація списку завдань за відповідною категорією.

Інтерфейс розробленого SPA-вебсайту показано на рис. 4.

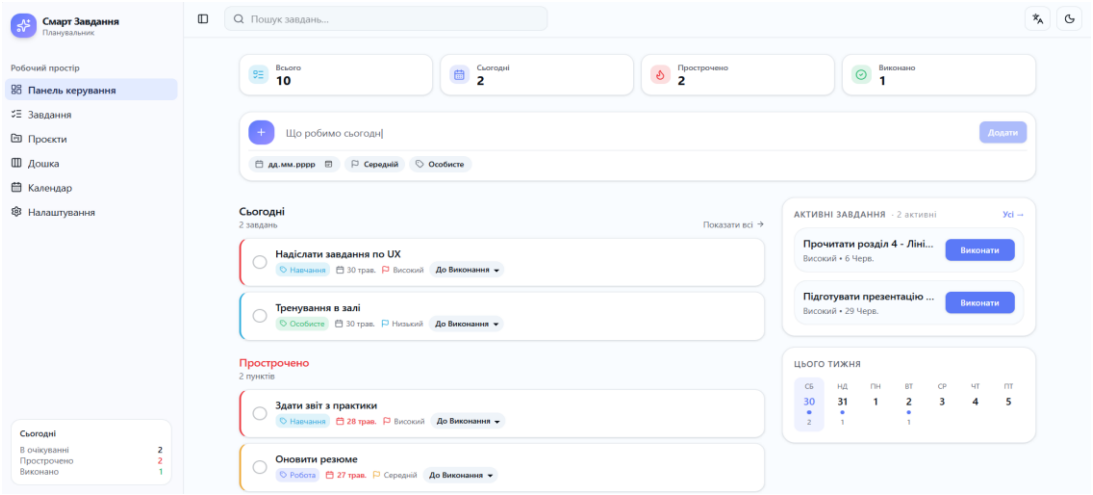


Рисунок 4 – Інтерфейс SPA-вебсайту управління списком завдань

У процесі розробки було реалізовано шість основних сторінок вебсайту, кожна з яких виконує окрему функцію управління списком завдань та забезпечує доступ до відповідного набору даних. Усі сторінки побудовано на основі єдиної дизайн-системи з підтримкою світлої та темної тем, а також мультимовного інтерфейсу. Навігація між сторінками реалізована за допомогою бічної панелі, яка містить перелік розділів із іконками та відображає статистичні показники стану завдань.

Тестування SPA-вебсайту управління списком завдань проводилось методом ручного функціонального тестування у браузері. Під час тестування було перевірено такі основні сценарії взаємодії користувача із застосунком, як операції з завданнями, робота фільтрів та пошуку, функціональність канбан-дошки, перемикання теми та мови, а також коректність збереження даних у localStorage. Кожен сценарій перевірено шляхом послідовного виконання дій у інтерфейсі та спостереження за відповідною реакцією застосунку, для перевірки збереження даних та адаптивності додатково використовувались вбудовані інструменти розробника DevTools та

Висновки. Отримані результати показують, що персистентність шуму рівня палива неоднакова на різних часових масштабах: на малих масштабах вона помірна й узгоджується з раніше встановленою високою короткостроковою автокореляцією цього шуму, а на великих масштабах флуктуаційна функція виходить на плато, що відповідає стаціонарності, підтвердженій тестами ADF і KPSS. Водночас шум характеризується мультифрактальністю, стійкою рекурентною структурою та важкими хвостами розподілу — властивостями, узгодженими з раніше встановленим кольоровим, негаусовим характером цього шуму [1]. Це обґрунтовує доцільність доповнення наявних методів обробки телеметрії рівня палива багатомасштабними нелінійними методами фільтрації.

Література

1. Розроблено односторінковий SPA-вебсайт управління списком завдань із використанням фреймворку React 19.2, мови програмування TypeScript 5.8, бібліотеки стилізації Tailwind CSS 4.2, засобів маршрутизації TanStack Router та системи інтернаціоналізації i18next.
2. Архітектуру застосунку реалізовано відповідно до патерну MVC, що забезпечує чітке розмежування логіки обробки даних, представлення інтерфейсу користувача та взаємодії з моделлю даних. Реалізовано засоби маршрутизації, адаптивного оформлення та мультимовної підтримки забезпечили зручність використання SPA-вебсайту на різних пристроях і створили основу для його подальшого розвитку та інтеграції.
3. Проведено тестування розробленого SPA-вебсайту яке підтвердило коректність роботи основних функцій, включаючи створення, редагування, видалення, фільтрацію та відображення завдань у різних режимах.

СЕКЦІЯ 3.
КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.8:004.432

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33756

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЙ RAG-КОНТЕНТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОВНОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО CODE REVSEW

Проценко М.М.
здобувач вищої освіти третього (аспірантського рівня)
спеціальності F7 – Комп'ютерна інженерія
Міжнародний університет
місто Одеса, Україна
protsenko.mike@gmail.com
Науковий керівник: Мірошник М.А., д.техн.н., професор

Анотація. *Проведено порівняльне дослідження того, як RAG та агентний підхід підвищують повноту автоматизованого code review. Встановлено, що текстовий контекст дає більший приріст, ніж розширений код, і в промисловій системі піднімає якість review на 61.98%, репозиторний контекст дає 285% приросту покриття дефектів, а інструментальний забезпечує реакцію розробника на 38.70% зауважень за скорочення часу review на 30.8%. Показано, що агентні системи замінюють одноразовий пошук ітеративним дослідженням коду з перевіркою достатності контексту. Запропоновано двоетапний підхід: попередню гіпотезу про клас дефекту за самим diff і цілеспрямований добір контексту під цей клас із перевіркою достатності доказів.*

Автоматизоване code review полягає у перевірці змін у коді засобами мовної моделі з метою виявити дефект до його потрапляння в основну гілку. Якщо моделі подано лише змінені рядки, вона виявляє локальні дефекти, проте не розпізнає причину, що міститься в іншому файлі, у пов'язаній задачі чи в конфігурації. Тому здатність системи знаходити реальні дефекти визначається передусім тим, який контекст дібрано на перевірку. Способи такого добору, що відрізняються тим, з чого саме береться контекст (з тексту задачі, зі структури коду чи з дій зовнішніх інструментів [9]), об'єднують під поняттям retrieval-augmented generation (RAG), а їх розвитком є агентні системи, що самостійно досліджують репозиторій. Мета роботи полягає у з'ясуванні того, як саме пошук контексту та агентна поведінка підвищують повноту виявлення дефектів. Щоб результат був вимірюваним, одиницею оцінювання прийнято

підтверджений дефект: автори бенчмарку c-CRAB перетворюють зауваження рецензентів на виконувані тести, і дефект вважається знайденим, якщо після виправлення тест проходить [2].

Найпростіша форма RAG додає до зміни текст, що пояснює її намір: опис задачі, пов'язаний issue, обговорення в pull request. Перевірка тоді стосується не синтаксичної коректності, а відповідності реалізації задуму. Значущість цього контексту підтверджує бенчмарк ContextCRBench, що містить 67 910 записів із прив'язкою issue до pull request у понад 90 репозиторіях та 9 мовах. Його автори показують, що саме текстовий контекст, а не додатковий код, дає більший приріст якості [1]. У промисловому застосуванні цей ефект виражений кількісно: коли ContextCRBench використали як сигнал для самонавчальної системи review у ByteDance, якість зросла на 61.98% [1]. Подібний ефект дають приклади вже перевірених змін: коли моделі показують найбільш схожий випадок review з минулого, вона краще відтворює усталені зауваження команди, підвищуючи відтворення рідкісних, але змістовних формулювань на 24.01% [6], хоча, як буде видно далі, цей приріст стійкий лише за невеликої кількості таких прикладів. Отже, навіть простий текстовий RAG істотно підвищує здатність моделі співвідносити зміну з її призначенням.

Наступний рівень добору враховує структуру коду, а не лише текст. Тут важливо не лише вибрати потрібний фрагмент, а й зберегти його цілісність: метод cAST показує, що поділ коду за рядками розриває функції, тоді як поділ за синтаксичним деревом дає самодостатні фрагменти й підвищує точність вибору релевантного коду (Recall@5) на 4.3 пункти [10]. Саме від цього вибору залежить, чи побачить модель потрібний фрагмент під час перевірки. На рівні цілого репозиторію виграш ще помітніший. Бенчмарк AACR-Bench, який надає моделі граф залежностей між файлами та експертно розмічені приховані дефекти, фіксує 285% приросту покриття дефектів порівняно зі стандартними наборами [4], а SWR-Bench із 1000 pull request показує, що агрегування кількох незалежних проходів review підвищує F1 виявлення проблем до 43.67% [3]. Структурний і репозиторний контекст відкриває моделі ті дефекти, що виникають на межі модулів і недосяжні з самого diff.

Окрему групу становить інструментальний RAG, де моделі подають не текст, а результати засобів, що самостійно перевіряють код: статичного аналізатора, перевірки типів, тестів, покриття. У цьому випадку контекст є не підказкою, а доказом, і це найбільше наближає review до практичної користі. Розгортання RovoDev Code Reviewer у компанії Atlassian, де система працювала понад рік на більш ніж 1900 репозиторіях і згенерувала понад 54 000 зауважень, показало, що близько 38.70% її зауважень призвели до фактичної зміни коду, час проходження pull request скоротився на 30.8%, а обсяг написаних людьми зауважень зменшився на

35.6% [7]. Ці показники відображають реальну реакцію розробників, а не подібність до зразка, і свідчать, що поєднання моделі з перевірювальними інструментами дає вимірюваний приріст продуктивності.

Спільним для всіх перелічених режимів є те, що контекст добирається один раз і подається моделі цілком. Агентний підхід знімає це обмеження: замість одноразового пошуку модель сама керує тим, що шукати далі, спираючись на вже знайдене. Показовим є AutoCodeRover: агент починає з ключових слів опису задачі, викликає пошукові операції над структурою коду, а далі переходить по викликах методів та означеннях класів, на кожному кроці уточнюючи, яких саме відомостей ще бракує, і поступово нарощуючи контекст. Перед формуванням висновку він окремо перевіряє, чи зібраного контексту достатньо [11]. Така цілеспрямована навігація дає змогу розв'язати близько 22% задач на наборі SWE-bench-lite, причому з помітно меншою витратою токенів, ніж у агентів без структурного пошуку, оскільки система швидше виходить на місце помилки [11]. Дослідники репозиторних бенчмарків незалежно фіксують той самий перехід: від подання моделі готових фрагментів контексту до активного дослідження коду, у якому система сама перевіряє власні припущення через кілька кроків взаємодії [4].

Ця самостійність помітна й у методології оцінювання AACR-Bench: для методів на основі подібності кількість фрагментів контексту задають наперед і фіксовано, тоді як агентному методу дозволено самому визначати, скільки контексту потрібно для конкретного pull request. За висновками авторів, саме вибір такої агентної парадигми поряд із рівнем деталізації контексту істотно впливає на результат, і цей вплив по-різному виявляється залежно від моделі та мови програмування [4]. Природним розвитком цієї ідеї є ітеративний пошук із перевіркою достатності доказів, коли система нарощує обсяг пошуку лише доти, доки наявних свідчень бракує для обґрунтування дефекту, і тим самим уникає зайвого контексту [12]. Таким чином агентна поведінка не лише розширює доступний контекст, а й керує його обсягом залежно від складності конкретного випадку.

Водночас більший контекст не є монотонно корисним, і це обмеження стосується як пасивного, так і агентного RAG. Та сама AACR-Bench виявляє, що агенти, ефективні за широкого контексту, подеколи пропускають очевидні локальні помилки, а для значної частини мов надлишковий контекст діє як шум і знижує результат. До того ж для сильної моделі простий пошук на основі BM25 чи векторної подібності нерідко додає більше шуму, ніж користі, причому різні моделі віддають перевагу різним способам пошуку [4]. Дослідження RARe незалежно встановлює, що додавання прикладів понад один найрелевантніший погіршує результат [5], а CR-Bench показує, що зі зростанням кількості

знахідок зростає й кількість хибних зауважень, які знижують довіру розробника до інструмента [8]. Отже, приріст забезпечує не більший обсяг контексту, а точність його добору під конкретну модель і клас дефекту.

Ідея визначати стратегію до отримання контексту не нова: у загальній RAG-літературі так званий adaptive retrieval класифікує складність запиту ще до звернення до джерел, а в самому code review İçöz і Biricik нещодавно показали, що класифікація pull request перед генерацією дає 13.2% приросту якості [13]. Втім, у їхній системі класифікація обирає модель для генерації, а вид контексту, історичні приклади через векторний пошук, лишається незмінним для всіх категорій. У цій роботі класифікується не тип коментаря, а ймовірна причина дефекту, і вона визначає не модель, а сам вид контексту для перевірки. Модель за самим diff, без додаткового контексту, висуває таку гіпотезу, спираючись на те, що навіть режим без RAG впевнено вказує на локальну аномалію, а вже контекст, який найбільше пасує ймовірному класу, залучається лише після цього.

Клас гіпотези визначає, який контекст залучається для перевірки: для невідповідності наміру це опис задачі чи issue, для міжфайлової помилки граф залежностей між модулями, а для помилки, яку виявляють інструменти розробки, результат статичного аналізу, перевірки типів чи тестів. Здобутий таким чином контекст перевіряють так само, як це роблять агентні системи. Якщо доказів для конкретного дефекту бракує, пошук продовжують у межах цього самого виду контексту або гіпотезу відхиляють. Картку з розташуванням у коді, типом помилки, джерелом контексту та способом перевірки формують лише за наявності підтвердження. Зауваження без такої картки розробникові не показують.

Перевірити такий підхід можна порівнянням із фіксованими стратегіями: режимом, що завжди залучає лише один вид контексту, і режимом, що залучає одразу всі види незалежно від класу гіпотези. Критерієм слугує не подібність згенерованого тексту до зразка, а кількість підтверджених дефектів і частка хибних зауважень серед усіх поданих. Перевірку доцільно провести на одному наборі pull request за фіксованої моделі, де еталоном є зауваження, прийняті людьми, та тести, що проходять після виправлення. Це дасть змогу з'ясувати, чи справді добір контексту за передбаченим класом дефекту дає кращий баланс повноти й точності, ніж стратегія з фіксованим або надлишковим контекстом.

Висновки. Огляд показує, що RAG і агентний підхід підвищують повноту автоматизованого code review, відкриваючи моделі ті дефекти, що недосяжні з самого diff. Текстовий контекст відновлює намір зміни, структурний і репозиторний розкривають міжфайлові зв'язки, а інструментальний надає перевірені докази. Агентна поведінка йде далі, замінюючи одноразовий пошук ітеративним дослідженням коду з перевіркою достатності контексту. Водночас більший контекст не

гарантує кращого результату: для сильних моделей надлишковий контекст подеколи лише знижує якість і додає шум. Тому найбільший приріст дає не максимізація обсягу контексту, а його добір під передбачуваний клас помилки та конкретну модель, поєднаний з агентною перевіркою обґрунтованості знахідки. Подальшим напрямом є експериментальний стенд, на якому режими порівнюються за кількістю підтверджених дефектів, а не за подібністю до еталонних зауважень.

Література

1. Hu R., Wang X., Wen X.-C., Zhang Z., Jiang B., Gao P., Peng C., Gao C. Benchmarking LLMs for Fine-Grained Code Review with Enriched Context in Practice. arXiv Computer Science, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2511.07017 (дата звернення: 29.06.2026).
2. Zhang Y., Pan Z., Yusuf I.N.B., Ruan H., Shariffdeen R., Roychoudhury A. Code Review Agent Benchmark. arXiv Computer Science, 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2603.23448 (дата звернення: 29.06.2026).
3. Zeng Z., Shi R., Han K., Li Y., Sun K., Wang Y., Yu Z., Xie R., Ye W., Zhang S. SWR-Bench: Assessing LLM Performance in Real-World Code Review Comment Generation. arXiv Computer Science, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2509.01494 (дата звернення: 29.06.2026).
4. Zhang L., Yu Y., Yu M., Guo X., Zhuang Z., Rong G., Shao D., Shen H., Kuang H., Li Z., Wang B., Zhang G., Xiang B., Xu X. AACR-Bench: Evaluating Automatic Code Review with Holistic Repository-Level Context. arXiv Computer Science, 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2601.19494 (дата звернення: 29.06.2026).
5. Meng Q., Zhang X., Ren Z., Visser J. When More Retrieval Hurts: Retrieval-Augmented Code Review Generation. arXiv Computer Science, 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2511.05302 (дата звернення: 29.06.2026).
6. Hong H., Baik J. Retrieval-Augmented Code Review Comment Generation. arXiv Computer Science, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2506.11591 (дата звернення: 29.06.2026).
7. Tantithamthavorn K., Zou Y., Wong A., Gupta M., Wang Z., Buller M., Jiang R., Watson M., Jeong M., Chen K., Wu M. RovoDev Code Reviewer: A Large-Scale Online Evaluation of LLM-based Code Review Automation at Atlassian. arXiv Computer Science, 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2601.01129 (дата звернення: 29.06.2026).
8. Pereira K., Sinha N., Ghosh R., Dutta D. CR-Bench: Evaluating the Real-World Utility of AI Code Review Agents. arXiv Computer Science, 2026. URL: https://arxiv.org/abs/2603.11078 (дата звернення: 29.06.2026).
9. Tao Y. et al. Retrieval-Augmented Code Generation: A Survey with Focus on Repository-Level Approaches. arXiv Computer Science, 2025. URL:

https://arxiv.org/abs/2510.04905 (дата звернення: 29.06.2026).
10. Zhang Y., Zhao X., Wang Z.Z., Yang C., Wei J., Wu T. cAST: Enhancing Code Retrieval-Augmented Generation with Structural Chunking via Abstract Syntax Tree. Findings of EMNLP, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2506.15655 (дата звернення: 29.06.2026).
11. Zhang Y., Ruan H., Fan Z., Roychoudhury A. AutoCodeRover: Autonomous Program Improvement. arXiv Computer Science, 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2404.05427 (дата звернення: 29.06.2026).
12. Song S. Knowledge-Aware Iterative Retrieval for Multi-Agent Systems. arXiv Computer Science, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2503.13275 (дата звернення: 29.06.2026).
13. İçöz B., Biricik G. Context-Aware Code Review Automation: A Retrieval-Augmented Approach. Applied Sciences, 2026, 16(4), 1875. URL: https://doi.org/10.3390/app16041875 (дата звернення: 02.07.2026).

УДК 629.58:007.52

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33757

UNDERWATER ROBOTICS AND THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR REAL-WORLD PROBLEMS THROUGH THE MATE ROV COMPETITION

Volodymyr Yarovenko
Undergraduate Student, Engineering One
Memorial University of Newfoundland
yarovenkovova2008@gmail.com

Анотація: *Underwater robotics is focused on the development of robotic systems for ocean exploration and investigation. The MATE ROV Competition is encouraging students from around the world to learn about underwater robotics by challenging them to design, build, and operate the ROVs and vertical-profiling floats.*

Underwater robotics is a field of engineering that focuses on the development and deployment of robotic systems in underwater environments where direct human access may be difficult or impossible. The application of underwater robotics includes the exploration and recording of environmental information, investigation of ocean floor, documenting shipwrecks, and more. The two main types of robotic systems used for these applications are AUV (Autonomous Underwater Vehicle) and ROV (Remotely Operated Vehicle) [1], [2].

MATE (Marine Advanced Technology Education) ROV Competition is an international underwater robotics competition that encourages students to creatively apply their scientific, engineering, technical, and collaborative skills in the development of ROVs for solving real-world problems. The competition challenges students from schools, colleges and universities with missions that are based on scenarios from the workplace [3], [4]. The philosophy of MATE ROV Competition is centered on student learning and the development of knowledge and skills through participation in competition [5].

MATE ROV Competition in 2026 included four following mission scenarios: "Seabed 2030: A Kaleidoscope of Corals in Cold Water", "SmartAtlantic Alliance: Better Information, Better Decisions", "Wind-Powered Offshore Oil Platform: Scalable Solutions for Global Energy Needs", and "MATE Floats Under the Ice" [5].

The first task required teams to collect species samples from the coral garden, create a three-dimensional model of coral garden autonomously through photogrammetry or manually using paper or CAD software, and either maintain position (World Championship) or fly (Regional Competition) a transect to record video footage of the coral garden [5].

The second task focused on invasive species identification, iceberg risk assessment for four oil platforms, recovering whale-safe fishing equipment from water, and servicing subsea observatory components [5].

The third task involved simulating a placement of a bubble curtain around a designated location, installing a micropile, retrieving the power connector from the wind farm subsea station, and installing the connector into the designated oil platform port [5].

The last task required teams to build an autonomous vertical-profiling float designed to collect data such as time, depth, pressure, and any additional data at 2.5 and 0.4 meters for 30 seconds each, two consecutive times. After retrieving the float to the surface, it transmits the data obtained during its two vertical profiles back to the station on shore in the form of data packets, where it is then plotted onto a graph [5].

To meet mission-specific requirements for MATE ROV Competition, the ROV was developed with integrated movement, observation, and control systems, along with manipulator, optimised buoyancy and stabilized power distribution system.

The movement system consists of thrusters driven by electronic system controllers (ESCs) operating with a pulse-width modulation (PWM) signal range of 1100μs-1900μs which allows precise regulation of thruster output [6]. A linear interpolation function (Fig. 1) is implemented to enable gradual deceleration and acceleration of the thrusters. Together, this movement system provided precise and smooth direction and displacement controls of the ROV.

$$y = y_1 + (x - x_1)\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Figure 1 - Linear interpolation formula

The observation system of the ROV provides real-time video footage of its surroundings, enabling safe underwater navigation and reliable monitoring of the environment during operations. This system typically consists of one or more cameras, such as Raspberry Pi Camera Module or USB webcams, connected to the ROV's central computing unit. The video is captured and then processed to be transmitted to the surface control station as a live video stream. Streaming technologies such as MediaMTX can be used to distribute the video feed using protocols such as Web Real-Time Communication (WebRTC) that provides low-latency video stream due to the use of Real-time Transport Protocol (RTP) [7], [8].

The control system of the ROV consists of a laptop, joystick, and router connected via Ethernet cables to the ROV and laptop. A custom-built graphical user interface (GUI) was developed and used on the laptop to provide an operator with live video streams of the ROV's cameras and with system feedback such as the percentage of thruster output. The joystick was used to control the rotational and translational movement of the ROV and rotation of the manipulator in real time. A router served as a communication bridge between laptop and the ROV by establishing a local access network (LAN) to ensure stable and reliable data transmission between the control system and the ROV.

A manipulator is a rotatable robotic claw that serves a role of interacting with obstacles and the environment underwater by physically grasping objects. It is commonly used to clear obstacles, transporting objects from one location to another, or retrieving items to the surface.

To achieve an optimised buoyancy for the ROV, the Archimedes' Principle (Fig. 2) was used to determine the buoyant force acting on the vehicle based on the density of water in which the ROV is being operated, the volume of water displaced by the ROV when submerged, and gravitational acceleration [9]. It was determined that the optimal buoyant condition of the vehicle is a slightly positive buoyancy, which ensures passive surface recovery of the ROV.

$$B = \varrho V g$$

Figure 2 - The Archimedes' Principle

The power distribution system of the ROV ensures that all of the electronic components of the vehicle are supplied with appropriate operating voltages and currents. To achieve this, the ROV is powered by a 12V power supply, which is stepped down using a buck converter to generate a 5V rail for

low-voltage electronics such as Raspberry Pi 4 Model B, serving as the vehicle's central computing unit [10]. At the same time, 12V rail is distributed for high-voltage electronics such as the thrusters.

As mentioned earlier, the fourth task required teams to build a vertical-profiling float for monitoring data at specific depths. A vertical-profiling float is a non-ROV robotic system that incorporates monitoring, movement, and communication systems that are controlled by a central computing unit installed on the float. The main application of the float is to autonomously collect data at specific depths and transmit it to the control station on shore [5].

The monitoring system consists of a digital pressure sensor that is connected to the float's central computing unit. As the float changes its depth during ascent or descent, the sensor detects changes in the pressure. The central computing unit of the float then converts the pressure reading into real-time depth estimation using Blue Robotics MS5837 digital pressure sensor library [11], which implements hydrostatic pressure formula (Fig. 3) to calculate depth from pressure assuming constant water density [12]. Additionally, the digital pressure sensor can be capable of reading the temperature of the water.

$$P = \varrho g h$$

Figure 3 - Hydrostatic pressure formula

The movement system of the float can be developed using two approaches: thruster-based propulsion, and buoyancy-based control. Thruster-based propulsion uses a thruster with an ESC that allows precise control of the thruster output by changing its PWM value [6]. To make the float hold the position at specific depth, a Proportional-Integral-Derivative (PID) (Fig. 4) control can be used to calculate the error between the target depth and current depth calculated based on the reading of a digital pressure sensor and adjust the thruster output accordingly [13]. Buoyancy-based control uses a syringe system driven by a motor or linear actuator to extend or retract the plunger, thus changing the volume of water inside of the syringe. To control the position of the float with a buoyancy-based control, feedback from a digital pressure sensor can be used to calculate the error between the target depth and the current depth. If the float is above the target depth, the volume of the water in the syringe increases, reducing the buoyancy of the float, causing it to descend. If the float is below the target depth, the volume of the water in the syringe decreases, increasing the buoyancy of the float, causing it to ascend. By continuously adjusting the syringe volume, the float can stabilize at the target depth.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)\,dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Figure 4 - Proportional-Integral-Derivative formula

The communication system of the float is based on wireless connection to a LAN, allowing a real-time data transmission between the float and the control station on shore. Sensor data, including depth, pressure, and other readings, is sent as data packets once the float is brought to the surface. The control station receives these data packets and visualizes them by plotting a graph.

Conclusions. Underwater robotics plays a significant role in an exploration and investigation of the ocean using specialized robotic systems designed for such conditions [1], [2]. The MATE ROV Competition encourages students from around the world to learn about underwater robotics by solving real-world engineering challenges based on workplace scenarios [3], [4]. Through designing, building, and operating the ROVs and vertical-profiling floats, the participants are gaining knowledge about underwater robotics which can be then applied in future careers in ocean workforce [5].

References

1. What is an ROV? - NOAA Ocean Exploration. NOAA Ocean Exploration. 2020. Available at: https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-fact/rov/.
2. What is an AUV? - NOAA Ocean Exploration. NOAA Ocean Exploration. 2020. Available at: https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-fact/auv/.
3. This is MATE ROV. MATE ROV Competition. 2026. Available at: https://materovcompetition.org/.
4. This is MATE. MATE ROV Competition. 2026. Available at: https://materovcompetition.org/history.
5. 2026 RANGER Class Competition Manual. MATE ROV Competition. 2026. Available at: https://20693798.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/20693798/2026/Manuals/2026%20RANGER%20Manual_updated_12_17_Cover.pdf.
6. Basic ESC. Blue Robotics. 2026. Available at: https://bluerobotics.com/store/thrusters/speed-controllers/besc30-r3/.
7. Introduction. MediaMTX. 2026. Available at: https://mediamtx.org/docs/kickoff/introduction.
8. Introduction to the Real-time Transport Protocol (RTP). MDN. 2024. Available at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebRTC_API/Intro_to_RTP.
9. Archimedes' Principle. Britannica. 2026. Available at: https://www.britannica.com/science/Archimedes-principle.
10. Raspberry Pi 4 Tech Specs. Raspberry Pi. 2026. Available at: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/.
11. bluerobotics/ms5837-python. Blue Robotics. 2026. Available at: https://github.com/bluerobotics/ms5837-python.

12. Pressure-to-Depth and Depth-to-Pressure Calculator. Blue Robotics. 2026. Available at: https://bluerobotics.com/learn/pressure-depth-calculator/.
13. Introduction to PID. FIRST Robotics Competition & WPI Lib. 2025. Available at: https://docs.wpilib.org/en/stable/docs/software/advanced-controls/introduction/introduction-to-pid.html#.

УДК 004.85:004.2

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33758

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЕННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У МЕЖАХ ГЕТЕРОГЕННИХ КОМП'ЮТЕРНИХ АРХІТЕКТУР

Новочинський Євген Григорович
аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Міжнародний університет
novochynskyiievgen@gmail.com

Анотація: *Досліджено методи підвищення продуктивності штучних нейронних мереж у межах сучасних гетерогенних комп'ютерних архітектур. Визначено, що ключовою проблемою розгортання масштабних моделей є дефіцит потужностей однорідних систем. Авторами проаналізовано підходи до оптимізації алгоритмів навчання та зниження обчислювальної складності через використання цілочисельної арифметики, що дозволяє зменшити навантаження на пам'ять пристроїв без втрати точності. Особливу увагу приділено подоланню затримок міжпроцесорного обміну шляхом графової оптимізації та конвеєризації даних із залученням інструментів відкритого коду. Сформовано практичні рекомендації щодо раціонального розподілу обчислювальних потоків між різнотипними процесорними ядрами для забезпечення максимальної енергоефективності обчислень.*

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту та глибокого навчання (*Deep Learning*) зумовив значне ускладнення архітектур штучних нейронних мереж (ШНМ). Сучасні моделі, такі як великі мовні моделі (*LLM*) або мультимодальні трансформери, містять мільярди параметрів, що вимагає колосальних обчислювальних ресурсів для їхнього навчання та розгортання (*inference*). Традиційні однорідні обчислювальні системи на базі центральних процесорів (*CPU*) уже не здатні забезпечити необхідну продуктивність та енергоефективність.

Ефективним розв'язанням цієї проблеми є використання гетерогенних комп'ютерних архітектур, які об'єднують різні типи обчислювальних пристроїв: *CPU*, графічні процесори (*GPU*), тензорні процесори (*TPU*), програмовані логічні матриці (*FPGA*) та спеціалізовані нейропроцесори (*NPU*). Проте гетерогенність цих систем створює серйозні

виклики для розробників, пов'язані з розподілом завдань, синхронізацією потоків даних та мінімізацією затримок. Тому оптимізація обчислювальних процесів ШНМ у гетерогенних середовищах є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею.

Сучасна парадигма обчислювальної лінгвістики та систем штучного інтелекту демонструє стрімке зміщення акцентів у бік інтеграції великих генеративних моделей, які потребують кардинально нових підходів до організації інфраструктури виконання. Постійне масштабування архітектур глибинного навчання зумовлює експоненціальне зростання обсягів матричних обчислень, що висуває жорсткі вимоги як до швидкодії, так і до енергоефективності задіяних систем. За таких умов традиційні підходи до проектування комп'ютерних систем вичерпують свій потенціал, змушуючи дослідників шукати гнучкі інструменти на перетині прикладної математики, системного програмування та мікроелектроніки.

У цьому контексті особливого значення набуває глибокий аналіз специфіки взаємодії програмного забезпечення з апаратними комплексами, де класична монолітна логіка обробки даних поступається місцем динамічним розподіленим середовищам. Ефективність сучасних прикладних рішень безпосередньо залежить від здатності алгоритмів адаптуватися до фізичних обмежень заліза, зокрема до пропускної здатності шин передачі даних та архітектурних особливостей паралельних потоків. Відтак, вивчення закономірностей функціонування штучних нейронних мереж у межах неоднорідних систем стає базовим елементом для створення конкурентоспроможних цифрових технологій.

Питанням оптимізації обчислень для нейромереж приділяють увагу багато вітчизняних та закордонних дослідників. Питанням підвищення продуктивності нейромережевих обчислень присвячено чимало фундаментальних та прикладних праць [1; 3; 5; 6]. Зокрема, досліджуються методи квантування (*quantization*) та прунінгу (*pruning*), які дозволяють зменшити обчислювальне навантаження на апаратне забезпечення без суттєвої втрати точності моделей. Разом з тим, алгоритми динамічного балансування навантаження між різнотипними ядрами в режимі реального часу потребують подальшого вдосконалення.

Мета дослідження полягає в аналізі існуючих методів оптимізації обчислювальних процесів ШНМ та розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності їхнього функціонування в умовах сучасних гетерогенних комп'ютерних систем.

Оптимізація роботи ШНМ у гетерогенних архітектурах будується на двох рівнях: алгоритмічному (оптимізація самої моделі) та системно-апаратному (ефективне керування ресурсами) [2].

На *алгоритмічному рівні* критично важливими є методи зменшення розрядності даних. Перехід від обчислень із плаваючою комою подвійної або одинарної точності (*FP64, FP32*) до напівточності (*FP16, BF16*) або

цілочисельних форматів (*INT8, INT4*) дозволяє краще утилізувати тензорні ядра сучасних *GPU* та *TPU*. Це не лише знижує вимоги до пропускної здатності пам'яті, а й зменшує енергоспоживання, що є критичним для мобільних та вбудованих (*Edge AI*) систем.

Розглядаючи алгоритмічний рівень, одним із найбільш дієвих кроків є оптимізація безпосередньо процедури навчання штучних нейронних мереж. Модифікація алгоритмів дозволяє знизити кількість необхідних епох та оптимізувати кроки градієнтного спуску, що мінімізує загальний час утилізації процесорного часу.

На системно-апаратному рівні ключовим завданням є подолання «вузького місця» (*bottleneck*) міжпроцесорного обміну. Оскільки *GPU* чи *FPGA* обробляють дані значно швидше, ніж *CPU* здатний постачати їх через шину *PCI-Express*, виникає простій обчислювальних блоків. Для оптимізації цього процесу застосовують такі підходи:

1. Асинхронний конвеєрний конвеєринг (*Pipelining*): суміщення в часі процесів завантаження наступного батчу даних у пам'ять акселератора з обчисленням поточного батчу.

2. Графова оптимізація обчислень**:** об'єднання (*fusion*) дрібних математичних операцій нейромережі (наприклад, згортка + активація *ReLU*) в один обчислювальний кернел для зменшення кількості звернень до глобальної пам'яті акселератора.

3. Гетерогенний паралелізм моделей**:** розподіл шарів нейромережі між різними пристроями залежно від їхньої архітектурної специфіки. Наприклад, початкова обробка сигналів чи тексту може виконуватися на *CPU*, матричні множення – на *GPU*, а специфічні логічні операції – на *FPGA.*

Завдяки інтеграції сучасних фреймворків (таких як *TensorRT, OpenVINO, ONNX Runtime*) вдається автоматизувати процес адаптації обчислювального графа ШНМ під конкретну специфіку гетерогенного середовища, що забезпечує приріст продуктивності в 2–4 рази порівняно зі стандартними базовими реалізаціями.

Важливим вектором оптимізації на етапі виконання (*inference*) є перехід від обчислень із високою точністю (наприклад, із плаваючою комою) до спрощених форматів даних. Як свідчать останні дослідження, оптимізація обчислення нейромереж за допомогою використання цілочисельної арифметики дозволяє радикально знизити навантаження на підсистему пам'яті та підвищити пропускну здатність процесорів без критичної втрати точності підсумкових результатів. Це особливо актуально для тензорних ядер сучасних *GPU* та спеціалізованих *NPU*-акселераторів.

На рівні системної інженерії вирішальне значення має координація обчислювальних графів. Сучасні програмні комплекси на практиці

реалізують принципи асинхронного конвеєрного оброблення даних, коли завантаження нових пакетів інформації у пам'ять *GPU* відбувається паралельно з обчисленням поточних матриць. Завдяки відкритому вихідному коду багатьох сучасних бібліотек та активній підтримці ком'юніті, розробники отримують гнучкі інструменти для низькорівневого керування потоками виконання та оптимізації структур нейронних мереж під конкретні критерії заліза [6]. Подібна інтеграція програмних рішень дозволяє усунути ефект «вузького місця» під час передачі даних між *CPU* та графічними прискорювачами, забезпечуючи реальний приріст швидкодії обчислень.

Аналізуючи апаратну специфіку сучасних обчислювальних прискорювачів, стає очевидним, що найбільші затримки виникають не під час виконання безпосередньо арифметичних операцій, а в моменти очікування надходження даних із глобальної пам'яті до локальних регістрів. Для мінімізації цього негативного ефекту доцільно застосовувати концепцію оптимізації щільності обчислень, яка базується на максимізації кількості виконаних операцій відносно кожного зчитаного або записаного байта інформації. Збільшення цього показника досягається завдяки згаданому вище об'єднанню обчислювальних кернелів на рівні графа [5]. Замість послідовного звернення до повільної глобальної пам'яті після кожного окремого прошарку нейромережі, проміжні результати акумулюються безпосередньо у швидкій кеш-пам'яті прискорювача, що кардинально змінює баланс завантаження компонентів гетерогенної системи та усуває вимушені простої ядер.

Іншим критичним аспектом, який безпосередньо впливає на швидкість навчання та виконання нейромережевих моделей у гетерогенному середовищі, є динамічне масштабування градієнтів та вагових коефіцієнтів під час процедури квантування. При переході від повноточних матриць до спрощених цілочисельних форматів завжди виникає ризик нелінійного спотворення сигналів через обмеженість нового дискретного діапазону. Щоб уникнути втрати точності, відображення дійсного значення вагового коефіцієнта в його квантований аналог здійснюється за допомогою адаптивної лінійної функції, де масштабний множник розраховується індивідуально для кожного шару на основі аналізу пікових значень активації, а додатковий параметр зміщення забезпечує точне збереження нульової точки. Такий підхід дозволяє повністю утримати репрезентативність ознак і уникнути накопичення похибок, що зазвичай супроводжують грубе математичне округлення чисел.

У підсумку, інтегрована оптимізація гетерогенної системи вимагає постійного моніторингу сумарного часу виконання кожної ітерації обчислювального процесу. Загальний час обробки інформаційного пакета в гетерогенному середовищі є інтегральним показником, який складається

із тривалості чистих обчислень на центральному та графічному процесорах, а також накладних витрат на транзит даних через міжкомпонентні інтерфейси, зменшених на величину часового інтервалу паралельного виконання. Практична цінність такого підходу полягає в максимальному суміщенні комунікаційних процесів та обчислень у часі за рахунок гнучкого асинхронного планування завдань. Завдяки цьому апаратні ресурси гетерогенної архітектури перестають бути ізольованими сегментами, а починають функціонувати в режимі єдиного збалансованого обчислювального конвеєра.

Оптимізація обчислювальних процесів штучних нейронних мереж у гетерогенних комп'ютерних архітектурах є комплексним завданням, успішне розв'язання якого вимагає синергії між алгоритмічними модифікаціями моделей та інтелектуальним керуванням апаратними ресурсами. Застосування методів квантування параметрів, мінімізації накладних витрат на передачу даних та оптимізації обчислювальних графів дозволяє досягти максимальної продуктивності систем штучного інтелекту.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивних алгоритмів автоматичного розподілу обчислень у хмарних та туманних (*Fog computing*) гетерогенних мережах. Перспективним напрямом розвитку окресленої проблематики є також інтеграція інтелектуальних агентів безпосередньо у програмні фреймворки керування обчисленнями, що дозволить реалізувати динамічний самонавчальний розподіл завдань у реальному часі. На відміну від статичного профілювання, автоматизований аналіз поточного стану обчислювальних черг дає змогу гнучко адаптувати топологію штучної нейронної мережі під динамічно змінювані характеристики гетерогенного середовища.

Висновки. Впровадження подібних інструментів дозволяє суттєво знизити поріг входження для розробників прикладного програмного забезпечення, оскільки процеси низькорівневої диспетчеризації та оптимізації графів переносяться на рівень інтелектуальної системної платформи. Таким чином, синергія математично обґрунтованих методів стиснення моделей та автоматизованого апаратного планування закладає надійний фундамент для масштабування технологій штучного інтелекту наступного покоління.

Література

1. Джефріс Р. Оптимізація обчислень штучного інтелекту на базі сучасних архітектур GPU та FPGA. *Комп'ютерні системи та мережі*, 2023. № 12. С. 102–110.
2. Заковоротний О. Ю., Хулап А. В. Оптимізація обчислення нейромереж за допомогою використання цілочисельної арифметики. *Системи*

управління, навігації та зв'язку. 2024. № 2. С. 90-94. doi: 10.26906/SUNZ.2024.2.090
3. Квасніков В. П., Олійник О. В. Особливості застосування гетерогенних обчислювальних структур для задач машинного навчання. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022. Вип. 3(69). С. 45–49.
4. Оптимізація процесу навчання штучних нейронних мереж / О. О. Безсонов, О. Г. Руденко, К. Олійник, О. Романюк // Інформаційні системи та технології : матеріали 9-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 17–20 листопада 2020 р. – Харків : Друкарня Мадрид, 2020. С. 300–302.
5. Brain.js: Some cool AI tools. Now the community carries the torch. GitHub repository. URL: https://github.com/BrainJS/brain.js/blob/master/src/neural-network.ts (дата звернення: 29.06.2026).
6. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016

УДК 004.052.4:004.85:519.83

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33759

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВЕРИФІКАЦІЇ КРИТИЧНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ, НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ТЕОРІЇ ІГОР

Григор'єва Т.І., к.т.н., доцент
Салагор В.І., аспірант
Міжнародний університет, місто Одеса
tig15090808@gmail.com
V0634162060@gmail.com

Анотація. *Розглядаються сучасні підходи до верифікації комп'ютерних систем критичного призначення на основі виявлення аномалій та прогнозування збоїв. Запропоновано комплексний підхід, який поєднує прогностичні методи аналізу даних, нечіткі моделі прийняття рішень, технології машинного навчання на базі рекурентних нейронних мереж LSTM та алгоритму Isolation Forest, а також теоретико-ігрові моделі виявлення латентних дефектів. Показано, що інтеграція статистичних, інтелектуальних та теоретико-ігрових методів дозволяє підвищити ефективність верифікації критичного програмного забезпечення, забезпечити раннє виявлення аномалій та зменшити ризик виникнення відмов у процесі функціонування складних комп'ютерних систем.*

Особливого значення набувають задачі верифікації програмного забезпечення, виявлення аномалій та прогнозування можливих відмов ще на ранніх етапах їх виникнення. Традиційні методи контролю переважно орієнтовані на аналіз уже наявних відмов [1], тоді як сучасні умови

вимагають створення інтелектуальних систем прогнозування та діагностики, здатних працювати в умовах невизначеності та динамічної зміни параметрів функціонування системи.

Метою роботи є підвищення ефективності процесів верифікації комп'ютерних систем критичного призначення на основі розроблення комплексних моделей і методів, що поєднують нечіткі моделі прийняття рішень та теоретико-ігрові підходи для виявлення аномалій, латентних дефектів і прогнозування збоїв у процесі функціонування систем.

Пропонується використання прогностичного підходу виявлення аномалій та збоїв, основою якого є аналіз часових рядів параметрів функціонування комп'ютерної системи. Для кожного контрольованого параметра формується часовий ряд, який відображає динаміку зміни стану системи. На основі статистичних характеристик обчислюються математичне сподівання, дисперсія та коефіцієнти варіації. Відхилення фактичних значень від прогнозованих можуть свідчити про появу прихованих аномалій або початок процесу деградації програмного забезпечення.

Використання моделей прогнозування дозволяє не лише фіксувати наявність відхилень, але й оцінювати ймовірність виникнення майбутніх відмов, що суттєво підвищує ефективність процесу верифікації. У процесі верифікації часто виникає ситуація, коли неможливо однозначно визначити поточний стан програмної системи. Для розв'язання цієї проблеми застосовується апарат нечітких множин.

Стан системи описується функцією належності $\mu(x) \in [0;1]$, де значення функції характеризує ступінь відповідності поточного стану системи вимогам надійності. Для прийняття рішень використовується база нечітких правил типу: «Якщо кількість помилок висока та час відгуку перевищує норму, то рівень ризику відмови є високим». На основі механізму нечіткого висновку формується інтегральна оцінка технічного стану програмного забезпечення, що дозволяє враховувати невизначеність і неповноту діагностичної інформації.

Для підвищення точності діагностування запропоновано використання гібридної моделі, яка поєднує нейронні мережі довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM), алгоритм Isolation Forest та нечітку логіку. Модель LSTM [2] використовується для прогнозування майбутніх значень параметрів системи та виявлення прихованих тенденцій у часових рядах. Isolation Forest [3] забезпечує автоматичне виявлення аномальних спостережень шляхом аналізу ізольованості об'єктів у просторі ознак. Результати роботи обох моделей надходять до нечіткої системи прийняття рішень, яка формує інтегральний показник ризику:

$$R = \omega_1 R_{LSTM} + \omega_2 R_{IF} + \omega_3 R_{Fuzzy},$$

де R_{LSTM} – оцінка ризику на основі нейронної мережі, R_{IF} – результат роботи Isolation Forest, R_{Fuzzy} – нечітка оцінка ризику, а ω_i – вагові коефіцієнти.

Запропонована гібридна модель дозволяє підвищити точність прогнозування та зменшити кількість хибних спрацювань системи моніторингу.

Для врахування конфліктної взаємодії між потенційним порушником та системою захисту в роботі запропоновано використовувати апарат теорії ігор. У межах побудованої моделі розглядаються два гравці: атакуюча сторона та система моніторингу комп'ютерної мережі. Стан кожного мережевого вузла описується нечіткою функцією належності $\mu_i \in [0;1]$, яка характеризує ступінь дефектності i-го вузла. Значення функції належності відображає рівень відхилення параметрів функціонування вузла від нормального стану та дозволяє враховувати невизначеність і неповноту діагностичної інформації. На основі сукупності отриманих оцінок визначається інтегральний рівень ризику компрометації системи та приймаються рішення щодо необхідності проведення додаткових перевірок.

Для вибору оптимальних стратегій у задачах виявлення латентних дефектів використовується концепція рівноваги Неша у змішаних стратегіях. На відміну від чистих стратегій, за яких кожен учасник обирає лише один варіант поведінки, змішані стратегії передбачають вибір дій відповідно до певного ймовірнісного розподілу. Такий підхід більш адекватно відображає реальні умови функціонування комп'ютерних систем критичного призначення, оскільки поведінка як атакуючої сторони, так і системи захисту характеризується значною невизначеністю та залежить від багатьох зовнішніх факторів.

У межах запропонованої теоретико-ігрової моделі атакуюча сторона формує множину можливих сценаріїв впливу на систему, серед яких розглядаються спроби компрометації окремих вузлів, перевантаження мережевих ресурсів, приховане поширення шкідливого програмного забезпечення та інші види деструктивних дій. Система моніторингу, у свою чергу, обирає стратегії контролю, що включають перевірку критичних компонентів, аналіз мережевого трафіку, посилення механізмів автентифікації, а також раціональний розподіл ресурсів спостереження між окремими сегментами мережі. Оскільки жодна зі сторін не володіє повною інформацією щодо намірів та майбутніх дій опонента, застосування змішаних стратегій є найбільш доцільним підходом до моделювання їхньої поведінки.

Рівновага Неша досягається за таких умов, коли жоден із гравців не може покращити значення власної функції виграшу шляхом односторонньої зміни стратегії за фіксованих стратегій інших учасників

гри. У цьому випадку формується стійкий баланс між можливими діями атакуючої сторони та механізмами протидії системи захисту. Для системи моніторингу це означає оптимальний розподіл обмежених ресурсів контролю між різними напрямами спостереження, тоді як для порушника зменшується можливість прогнозування поведінки системи захисту та вибору найбільш уразливих точок атаки.

Використання змішаних стратегій дозволяє враховувати динамічний характер функціонування мережевого середовища, у якому структура зв'язків, інтенсивність інформаційних потоків та рівень кіберзагроз змінюються в часі. Крім того, такий підхід забезпечує адаптивність системи моніторингу до нових типів атак і невідомих сценаріїв розвитку аномальних процесів. У результаті підвищується ефективність виявлення латентних дефектів, знижується ризик пропуску критичних аномалій та забезпечується більш стійке функціонування комп'ютерних систем критичного призначення в умовах невизначеності та конфліктної взаємодії. Застосування теоретико-ігрового підходу також створює передумови для адаптивного управління ресурсами моніторингу та підвищення ефективності процесів верифікації складних програмно-технічних комплексів.

Висновки. Запропоновано комплексний підхід до верифікації комп'ютерних систем критичного призначення, який поєднує прогностичні методи аналізу даних, нечіткі моделі прийняття рішень, технології машинного навчання та теоретико-ігрові механізми підтримки прийняття рішень. Показано, що використання гібридних моделей на основі LSTM-мереж, алгоритму Isolation Forest та нечіткої логіки сприяє підвищенню точності прогнозування збоїв і ефективності виявлення аномалій. Включення теоретико-ігрових моделей дозволяє враховувати конфліктний характер взаємодії між атакуючою стороною та системою захисту, що є важливою умовою забезпечення функційної безпечності сучасних комп'ютерних систем критичного призначення. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення інтелектуальних систем верифікації, моніторингу та підтримки прийняття рішень у складних програмно-технічних комплексах.

Література

1. Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J. Engineering in Dependability of Computer Systems and Networks. Proc. of the Fourteenth International Conference on Dependability of Computer Systems DepCoS-RELCOMEX (Brunów, Poland July 1–5, 2019). Brunów, Poland, 2019. URL: https://www.springer.com/gp/book/9783030195007.
2. An Improved LSTM-Based Prediction Approach for Resources and Workload in Large-Scale Data Centers / H. Yuan, J. Bi, S. Li et al. *IEEE*

Internet of Things Journal. 2024. Vol. 11, no. 12. P. 22816–22829. DOI: 10.1109/JIOT.2024.3383512.
https://researchwith.njit.edu/en/publications/an-improved-lstm-based-prediction-approach-for-resources-and-work/
3. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z. H. Isolation-based anomaly detection // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD). – 2012. – Vol. 6, No. 1. – P. 1–39. https://www.lamda.nju.edu.cn/publication/tkdd11.pdf

УДК 007.52:629.3

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33760

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ «HEX ROBOT»

Бобуйок Максим Вадимович
здобувач 1 курсу першого (бакалаврського) рівня
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет
klekklaks@gmail.com
Павленко Максим Константинович
здобувач 1 курсу першого (бакалаврського) рівня
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет
pokkoplo222@gmail.com
Кузнєцова Валерія Євгенівна
Координатор науково-дослідницьких проектів
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний університет
kuznietsova996@gmail.com

Анотація: *Під час виконання різноманітних вантажних робіт значна кількість травм працівників пов'язана з фізичним перевантаженням, підйомом важких матеріалів та їх транспортуванням територією робочого майданчика [1]. Вирішенням цієї проблеми команда здобувачів факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук Міжнародного університету розпочала розробку стартапу «HEX Robot» – системи автоматизованого перевезення вантажів (рис. 1).*

Проект передбачає створення автономної роботизованої платформи для транспортування вантажів із точки А в точку Б за допомогою технології SLAM та алгоритмів штучного інтелекту. Система здатна самостійно будувати маршрут руху, аналізувати навколишнє середовище та здійснювати обхід перешкод у режимі реального часу.

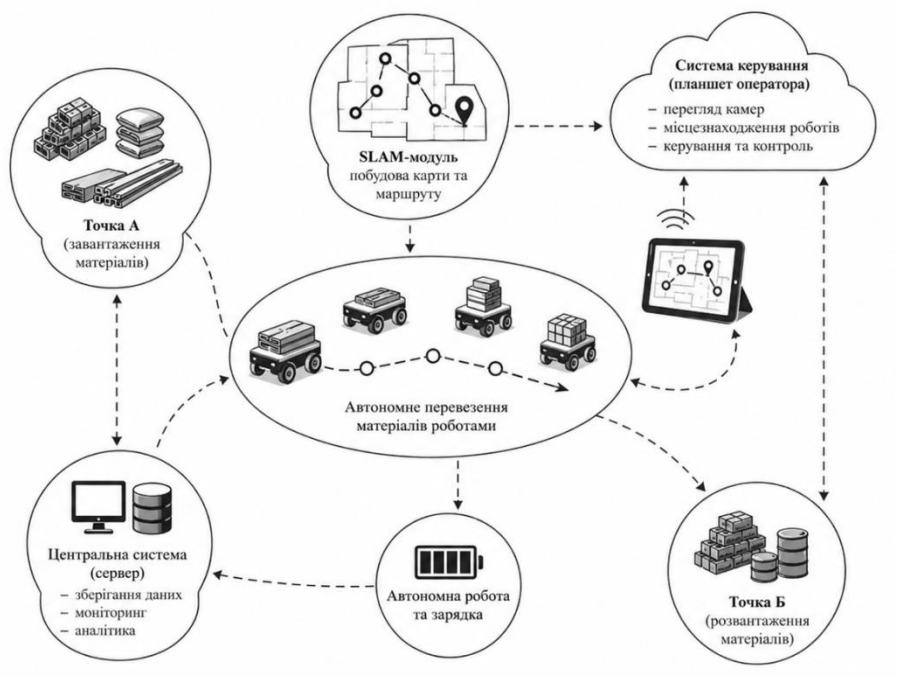


Рисунок 1 – Структурна схема системи «HEX Robot»

Технологія SLAM забезпечує одночасне визначення місцеположення робота та побудову карти території. Робот може працювати як в автономному режимі, так і в режимі дистанційного керуванням за допомогою планшета, який входить до комплекту системи. Усі роботи об'єднуються в єдину систему управління, що дозволяє отримувати доступ до камер, координат та оновлення маршрутів у режимі реального часу.

Система побудована на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 [2], який забезпечує автономність роботи навіть за відсутності стабільного сигналу зв'язку. Робот оснащений фронтальною камерою для аналізу середовища, LiDAR-сенсором для вимірювання відстані до об'єктів та трьома Cliff-сенсорами для виявлення виступів і запобігання падінню. Для руху використовуються два електродвигуни. Для забезпечення безперервної роботи передбачена система швидкої заміни акумуляторів.

Основними перевагами системи «HEX Robot» є автоматизація процесу перевезення матеріалів, підвищення ефективності виконання транспортних робіт, зменшення фізичного навантаження на працівників та забезпечення технічної підтримки під час використання роботизованої системи. Крім того, робот може функціонувати в умовах складного рельєфу та за різних погодних умов.

Висновки. Отже, система «HEX Robot» може стати перспективним рішенням для автоматизації робіт по перевезенню вантажів, підвищення безпеки праці та оптимізації процесів транспортування матеріалів на робочих майданчиках.

Література

1. Neterials Handing Contractor Planning Tool. URL: https://www.cpwr.com/research/research-to-practice-r2p/r2p-library/other-resources-for-stakeholders/best-built-plans/materials-handling-contractor-planning-tool/materials-handling-contractor-planning-tool-prevent-injuries/
2. Raspberry Pi 4 URL: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/.

УДК 629.735.05:681.5

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33761

МАЙСТЕР-КЛАС ЗА ТЕМОЮ «ТЕХНО ІНТЕЛЕКТ»

Немшилов Юрій Олександрович, к.т.н., доцент
ХНАУ «ХАІ» доцент каф. Мехатроніки та електротехніки
y.nemshilov@khai.edu

Анотація. *Розглянуті різноманітні вироби здобувачів освіти. Наведено особливості виконання та керування цих об'єктів. Розглянуті деякі алгоритми управління*

Як відомо, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» – провідний науково-освітній центр авіаційної та аерокосмічної галузі, індустрії інформаційних та інтелектуальних технологій, що поєднує фундаментальні знання з інженерними й технологічними інноваціями, формує нові напрями індустрії в партнерстві з державою, бізнесом і світом, активно інтегрується в глобальний науковий простір, розвиває людський капітал і готує лідерів нового покоління, залишаючись відповідальним, стійким та інклюзивним університетом, орієнтованим на безпечний і сталий розвиток України.

У ході навчання здобувачів освіти, а саме, проведення курсового та дипломного проектування є важливим завданням і супроводжуються натурними та напівнатурними дослідженнями розроблюваної системи автоматичного управління. Якщо у ході роботи виготовляться стенд або лабораторний зразок об’єкта управління, актуальним є визначення його математичної моделі у вигляді передавальних функцій з використанням експериментальних динамічних характеристик. Окрім того, дуже важливим є процес налаштування параметрів стенду або пристрою.

Підготовка майбутніх здобувачів починається зі школярського віку. Це агітація, проведення «днів відкритих дверей», «вечорів науки», тощо. Уже понад два роки в межах доуніверситетської освіти Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» на кафедрі мехатроніки та електротехніки (305) працює науково-технічний гурток «Мехатронік ХАІ». Тут школярі й майбутні інженери роблять свої перші кроки у світі робототехніки, мехатроніки й сучасних технологій, навчаються працювати в команді, створювати власні технічні проєкти й втілювати найсміливіші ідеї. Також це перший крок до мехатроніки за рахунок техно інтелекту.

Розглянуті пристрої умовно можливо розділити на чотири групи:
Коптери;
Рульові поверхні;
Транспортні засоби;
Нестійкі об'єкти.

Послідовно оглянемо пристрої кожного напрямку.

Коптери. Є можливість моделювати та дослідити рух моделі літального апарату різного типу.

Моделі першої групи для дослідження законів управління

Квадрокоптер

Конвертоплан

Конвертоплан

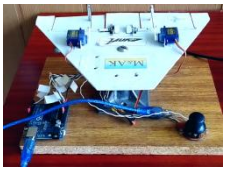
Конвертоплан

БПЛА в захисній оболонці

Рульові поверхні. Є можливість моделювати та дослідити рух рульових поверхонь та реакцію моделі літака різного типу.

Моделі другої групи для дослідження законів управління

Тип безхвістка



Для тангажу та крену

Повний набір рульових поверхонь

Ракета

Вплив бічного збурення

Транспортні засоби. Вони призначені для розробки та дослідження алгоритмів управління різноманітними рухомими пристроями. Особливо

цікавий повністю автономний об’єкт, котрий самостійно, без зовнішнього управління знаходить предмет та доставляє у довільне місце, яке випадково позначає оператор.

Моделі третьої групи для дослідження законів управління

Бічне паркування

Рухомий пристрій (без обладнання) для моніторингу навколишнього середовища

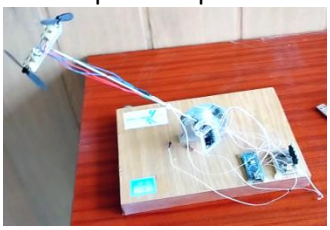
Абсолютно автономний пристрій пошуку та доставки об’єкту у обране місце

Стабілізація у вертикальному положенні під впливом збурень

Нестійкі об’єкти. Сучасні літальні апарати, зазвичай, є статично нестійкими об'єктами. За рахунок цього досягається підвищена маневреність та керованість. Тому вивчення та розробка законів управління нестійкими об’єктами є дуже важливим завданням.

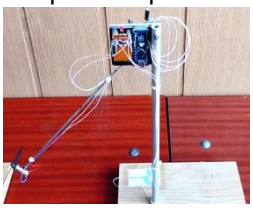
Моделі четвертої групи для дослідження законів управління

Перший варіант



Другий варіант

Третій варіант



Універсальний варіант

Висновки. Таким чином було розглянуто ряд різноманітних об’єктів, їх устрій та основні закони управління.

Література

1. Синєглазов, В.М. Автоматизовані системи управління повітряних суден: [Текст]: Підручник/ В.М. Синєглазов.,М.К. Філяшкін. К.НАУ, 2013. – 502 с.
2. Немшилов Ю.О. Моделі систем управління літальними апаратами та методи експериментальних досліджень [Текст]: Навч. посіб. / Ю.О.

Немшилов. - Харків : Нац. аєрокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", 2019. - 160 с.

3. Немшилов, Ю. О. Практичне визначення передавальних функцій лабораторного стенду літака за кутом рискання [Текст] / Ю. О. Немшилов, С. М. Пасічник // Відкриті інформаційні та комп'ютерно інтегровані технології. – 2024. – № 99. – С. 62–77.
4. Немшилов, Ю. О.Методика експериментальних досліджень спрощеної моделі БПЛА типу бікоптер [Текст] / Ю. О. Немшилов // Відкриті інформаційні та комп'ютерно інтегровані технології. – 2024. – № 100. – С. 23–34.

СЕКЦІЯ 4.
КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 004.7:004.056

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33762

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ

Григор'єва Т.І., кандидат технічних наук, доцент,
tig15090808@gmail.com
Мельник В.В., здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії
спеціальності F5 - Кібербезпека та захист інформації
Міжнародний університет, місто Одеса
valikysimys.melnyk@gmail.com

Анотація. *У роботі досліджено задачу математичного моделювання безпечної маршрутизації даних у комп'ютерних мережах в умовах невизначеності кіберзагроз. Запропоновано підхід, що базується на використанні нечіткого алгоритму Дейкстри для пошуку оптимального маршруту передачі даних з урахуванням рівня кіберризику окремих каналів зв'язку. Для формалізації невизначених експертних оцінок використано трикутні нечіткі числа, а для ранжування альтернативних маршрутів – метод порівняння нечітких метрик ризику на основі інтегральної оцінки. Розроблена математична модель дозволяє комплексно враховувати рівень захищеності мережевої інфраструктури та забезпечує вибір маршруту з мінімальним інтегральним ризиком. Запропонований підхід може бути використаний під час проєктування систем захищеної маршрутизації, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері кібербезпеки та програмних засобів управління інформаційними мережами.*

Останніми роками спостерігається суттєве зростання наукового інтересу до розроблення математичних моделей безпечної маршрутизації даних у комп'ютерних мережах, що зумовлено збільшенням кількості кіберзагроз, ускладненням мережевої інфраструктури та необхідністю забезпечення стійкого функціонування інформаційних систем [1]. Значна частина сучасних досліджень присвячена вдосконаленню алгоритмів пошуку оптимальних маршрутів із використанням методів штучного інтелекту, нечіткої логіки, еволюційних алгоритмів і багатокритеріальної оптимізації [2]. Попри значну кількість наукових публікацій, у наявних дослідженнях залишається низка невирішених питань, пов'язаних із комплексним урахуванням невизначеності під час оцінювання кіберризиків у процесі маршрутизації даних [3]. У нашій роботі пропонується математична модель безпечної маршрутизації даних, що поєднує графове подання мережі, нечіткий алгоритм Дейкстри та методи порівняння метрик кіберризику. Запропонований підхід передбачає подання ваг

дуг графа у вигляді трикутних нечітких чисел, визначення інтегральної оцінки ризику маршруту та вибір оптимального шляху передачі даних за критерієм мінімального рівня кіберризику. Використання запропонованої моделі дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо маршрутизації в умовах невизначеності, забезпечуючи комплексне врахування характеристик безпеки мережевих каналів і потенційних кіберзагроз.

Розглянемо задачу моделювання безпечних маршрутів передачі даних у комп'ютерній мережі, де поряд із традиційними критеріями мінімальної довжини маршруту необхідно враховувати рівень кіберризику кожного каналу зв'язку. В умовах постійного зростання кількості кібератак традиційні алгоритми маршрутизації, які використовують лише числові ваги дуг графа, не забезпечують достатньої ефективності прийняття рішень, оскільки оцінювання ризику характеризується високим рівнем невизначеності. Тому пропонується використовувати математичний апарат нечітких множин, який дозволяє формалізувати експертні оцінки рівня захищеності окремих каналів передачі даних та інтегрувати їх у процес пошуку оптимального маршруту.

Нехай інформаційна мережа описується орієнтованим графом $G = (V, E)$, де $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина вузлів мережі, а $E = \{e_{ij}\}, i, j = \overline{1,n}$, $E \subseteq V \times V$ – множина нечітких дуг, які відповідають каналам передачі даних. Кожна дуга графа характеризується певним рівнем кіберризику, який формується під впливом багатьох чинників, зокрема ймовірності компрометації каналу, рівня захищеності мережевого обладнання, інтенсивності мережевих атак та можливих наслідків реалізації загроз. Запропоновано представляти вагу кожної дуги не одним числом, а трикутним нечітким числом $\tilde{r}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, де a_{ij} характеризує оптимістичну оцінку ризику, b_{ij} – найбільш ймовірне значення, а c_{ij} – песимістичну оцінку ризику. Такий підхід дозволяє врахувати невизначеність експертних оцінок та наблизити математичну модель до реальних умов функціонування комп'ютерних мереж.

Будемо використовувати трикутну функцію належності

$$\mu_{\tilde{r}}(x) = \begin{cases} 0, x < a, x > c, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, a \leqslant x \leqslant b, \\ \dfrac{c-x}{c-b}, b \leqslant x \leqslant c, \end{cases}$$

яка визначає ступінь належності конкретного значення ризику до заданої нечіткої оцінки. Використання трикутної функції значно спрощує математичні операції над нечіткими величинами та забезпечує ефективність комп'ютерної реалізації алгоритму.

Розглянемо маршрут передачі даних P, що складається з множини дуг графа. Відповідно до моделі сумарний ризик маршруту будемо визначати через суму нечітких ваг усіх дуг. В результаті, ми одержимо нечітку оцінку

сумарного ризику всього маршруту передачі даних:

$$\tilde{R}(P) = \sum_{e_{ij} \in \mathrm{P}} \tilde{r}_{ij}.$$

Отриманий вираз свідчить, що рівень ризику накопичується вздовж маршруту та залежить від характеристик усіх його сегментів.

Оскільки класичний алгоритм Дейкстри працює лише з числовими вагами, пропонується здійснити ранжування нечітких чисел за допомогою інтегральної метрики ризику. Будемо використовувати метод центру ваги, відповідно до якого кожному нечіткому числу ставиться у відповідність скалярна оцінка

$$S(\tilde{R}) = \frac{a + b + c}{3}.$$

Визначимо правило вибору оптимального маршруту через вибір такого шляху передачі даних, для якого інтегральний показник ризику набуває мінімального значення:

$$P^* = arg \min_P S(\tilde{R}(P)),$$

Далі визначимо узагальнену функцію оцінювання:

$$Q = \alpha R + \beta T + \gamma L,$$

де R – інтегральний показник кіберризику, T – рівень довіри до вузла мережі, L – потенційні втрати від реалізації кіберзагрози, а коефіцієнти α, β, γ визначають вагомість кожного критерію та задовольняють умову

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 .$$

Таким чином, запропонована модель дозволяє здійснювати багатокритеріальне оцінювання маршрутів передачі даних, враховуючи одночасно декілька показників інформаційної безпеки. Запропоновано використовувати отриману математичну модель як основу модифікованого нечіткого алгоритму Дейкстри, який на кожному кроці виконує порівняння інтегральних оцінок ризику та обирає маршрут із мінімальним значенням функції Q. Таким чином, запропонований підхід поєднує переваги графового моделювання, нечіткої логіки та методів багатокритеріального аналізу, що забезпечує підвищення обґрунтованості прийняття рішень щодо вибору безпечних маршрутів передачі даних в умовах невизначеності та змінного кіберзагрозового середовища.

Висновки. У роботі розглянуто задачу математичного моделювання безпечної маршрутизації даних у комп'ютерних мережах в умовах

невизначеності, зумовленої мінливістю кіберзагроз та складністю оцінювання рівня захищеності мережевої інфраструктури. Запропоновано підхід, що ґрунтується на поєднанні графового подання мережі, нечітких оцінок кіберризику та модифікованого алгоритму Дейкстри, який дозволяє здійснювати пошук маршруту не лише за критерієм мінімальної довжини, а й з урахуванням рівня інформаційної безпеки.

Показано, що використання трикутних нечітких чисел для опису ваг дуг графа забезпечує можливість формалізації експертних оцінок ризику та врахування невизначеності під час прийняття рішень. Застосування методів порівняння нечітких метрик ризику дозволяє перетворити нечіткі оцінки на інтегральний показник, який використовується для ранжування альтернативних маршрутів і вибору найбільш безпечного шляху передачі даних.

Отримані результати свідчать, що запропонована математична модель є придатною для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері кібербезпеки, оскільки забезпечує комплексне врахування ризиків та підвищує обґрунтованість вибору маршрутів передачі даних. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка програмної реалізації модифікованого нечіткого алгоритму Дейкстри, проведення експериментального моделювання на мережах різної топології, а також інтеграція методів машинного навчання для динамічного прогнозування рівня кіберризиків і адаптивної маршрутизації в реальному масштабі часу.

Література

1. Shoaei, Z., Esmaeilyfard, R., Javidan, R. et al. A new adaptive neuro-fuzzy trust-based routing for dynamic IoT networks. Cluster Comput 28, 710 (2025). https://doi.org/10.1007/s10586-025-05381-2
2. Antipov, I., & Vasylenko, T. (2026). FUZZY-LOGIC ALGORITHM FOR RISK ASSESSMENT IN WI-FI NETWORKS. Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 6–15. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2026-1-1
3. Соколов В. Ю., Костюк Ю. В., Складаний П. М., Коршун Н. В. (2025). Побудова безпечних інформаційних потоків у комп'ютерних мережах на основі метрик кіберризиків. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції ICST-ODESSA 2025, С. 44–47. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/53201/1/V_Sokolov_Y_Kostiyk_P_Skladannyi_N_Korshun_ICST-ODESS_2025.pdf

УДК 004.056

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33763

OSINT У КІБЕРБЕЗПЕЦІ

Розенвассер Д.М.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій
Міжнародний університет
м. Одеса, Україна
Шведу М.І.
здобувачка 3-го курсу першого (бакалаврського) рівня
зі спеціальності 125 Кібербезпека та захист інформації
Міжнародний університет
м. Одеса, Україна

Анотація. *У роботі розглянуто особливості використання технологій OSINT (Open Source Intelligence) у сфері кібербезпеки. Проаналізовано основні джерела відкритої інформації, сучасні інструменти збору даних, методи їх аналізу та можливості практичного застосування під час виявлення кіберзагроз. Особливу увагу приділено оцінці ефективності OSINT-аналізу, використанню спеціалізованих програмних засобів, а також ролі відкритої розвідки у попередженні кіберінцидентів.*

Стрімкий розвиток інформаційних технологій призвів до безпрецедентного збільшення обсягів відкритої інформації, що щоденно публікується в мережі Інтернет. Соціальні мережі, офіційні вебресурси, державні реєстри, спеціалізовані форуми, картографічні сервіси та інші відкриті джерела містять величезний масив даних, який може використовуватися як для законної аналітичної діяльності, так і під час здійснення кіберзлочинів [1-4].

У сфері кібербезпеки своєчасне отримання достовірної інформації дозволяє значно скоротити час реагування на потенційні загрози, оцінити рівень ризику та своєчасно виявити можливі вразливості інформаційних систем. Саме тому технології OSINT сьогодні є одним із найбільш актуальних і перспективних напрямів цифрової розвідки [5-6].

Метою роботи є дослідження можливостей використання OSINT у кібербезпеці, аналіз сучасних інструментів відкритої розвідки та оцінка їх ефективності при забезпеченні інформаційної безпеки.

На відміну від традиційної розвідки, процес пошуку, збору, обробки та аналізу інформації, отриманої виключно із законних відкритих джерел (OSINT) не передбачає несанкціонованого доступу до інформації чи використання спеціальних технічних засобів проникнення [2-4].

Процес OSINT включає декілька етапів:

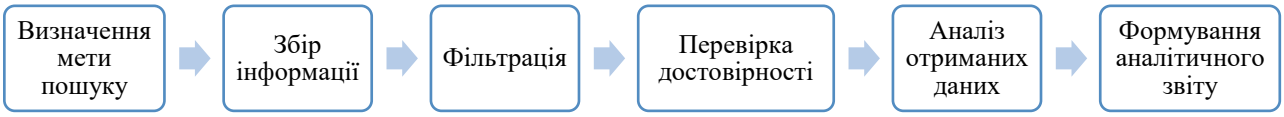


Рисунок 1 – Етапи відкритої розвідки

У сучасній кібербезпеці OSINT використовується практично на всіх етапах забезпечення захисту інформаційних систем.

Під час проведення аудиту інформаційної безпеки OSINT дозволяє ще до початку активного тестування знайти значну кількість потенційних проблем. Крім того, відкрита розвідка широко використовується під час реагування на кіберінциденти (Incident Response), цифрової криміналістики (Digital Forensics) та аналітиці загроз (Threat Intelligence) [5-6].

Ефективність застосування OSINT залежить від якості вихідних даних та правильності їх аналізу. На відміну від автоматизованого сканування мережі, відкрита розвідка дозволяє отримати значно ширший контекст щодо діяльності організації [2-6].

Джерела	Заходи	Об'єкт аналізу	Отриманий результат
• Офіційні державні реєстри • Вебсайти організацій та установ • Соціальні мережі • Форуми та тематичні спільноти • Засоби масової інформації • Бази доменних імен (WHOIS, DNS) • Геоінформаційні сервіси • Відкриті бази витоків даних • Репозиторії програмного забезпечення	• Постановка мети дослідження • Пошук відкритих джерел інформації • Збір інформації • Первинна фільтрація даних • Перевірка достовірності отриманих відомостей • Аналіз отриманих даних • Узагальнення результатів • Формування аналітичного звіту • Комплексне оцінювання отриманої інформації	• Аналіз цифрового сліду об'єкта дослідження • Аналіз відкритих сервісів і ресурсів • Аналіз відкритих профілів та цифрової активності • Аналіз можливих каналів соціальної інженерії • Аналіз інформаційних повідомлень • Дослідження доменної інфраструктури • Просторовий аналіз інформації • Аналіз витоків облікових записів • Аналіз програмного забезпечення та цифрових артефактів	• Встановлення структури та характеристик об'єкта • Виявлення використовуваних програмних засобів • Отримання відомостей про пов'язаних осіб або цифрові ресурси • Виявлення потенційних загроз соціальної інженерії • Підтвердження або спростування знайдених відомостей • Встановлення історії доменів та мережевої взаємодії • Визначення географічного розташування об'єктів • Виявлення компрометації конфіденційних даних • Оцінювання потенційних ризиків і підготовка рекомендацій

Рисунок 2 – Основні складові OSINT-дослідження

Разом із перевагами існують і певні недоліки. Частина інформації може бути застарілою або навмисно неправдивою. Саме тому одним із головних принципів OSINT є перевірка отриманих відомостей із декількох незалежних джерел [2, 4, 7].

Для кількісного оцінювання показника ефективності застосування відкритої розвідки можна використати інтегральну модель розрахунку:

$$E_{OSINT} = w_1 D + w_2 R + w_3 C + w_4 T$$

де D – повнота інформації (Completeness);
R – достовірність інформації (Reliability);
C – актуальність інформації (Currency);
T – оперативність отримання інформації (Timeliness);
w_i – вагові коефіцієнти, при цьому:

$$\sum_{i=1}^{4} w_i = 1$$

Найбільш поширені інструменти відкритої розвідки наведено в таблиці 1 [8]:

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз сучасних OSINT-інструментів

Інструмент	Основне призначення	Переваги	Недоліки
Maltego	Аналіз взаємозв'язків	Потужна візуалізація	Частина функцій платна
Shodan	Пошук пристроїв Internet	Велика база IoT	Не всі функції актуальні
Spider Foot	Автоматичний збір даних	Автоматизовано	Тривале сканування
theHarvest	Збір e-mail доменів	Простота використання	Менша функціональність
Censys	Аналіз мережевих реєстрів	Глибокий пошук	Необхідна реєстрація

Застосування декількох інструментів одночасно значно підвищує повноту та достовірність отриманої інформації. Одним із найбільш поширених прикладів використання OSINT є аудит цифрового сліду [3, 4, 9].

Отримані результати дозволяють фахівцям своєчасно виявити та усунути потенційні вразливості ще до того, як ними скористаються зловмисники.

Висновки. Використання відкритих джерел інформації дозволяє значно підвищити ефективність аналізу кіберзагроз, своєчасно виявляти потенційні ризики та приймати обґрунтовані рішення щодо захисту інформаційних систем.

Інтеграція методів відкритої розвідки в діяльність фахівців із кібербезпеки забезпечує можливість комплексного дослідження цифрового середовища без порушення законодавства. Подальший розвиток технологій штучного інтелекту, машинного навчання та автоматизованих систем аналізу даних сприятиме підвищенню точності й швидкості OSINT-досліджень, що робить цей напрям одним із найперспективніших у сфері інформаційної безпеки.

Література

1. Bennett W. L., Livingston S. The disinformation order: Disruptive communication and the decline of democratic institutions // *European Journal of Communication*. 2018. Vol. 33, No. 2. P. 122–139. DOI: 10.1177/0267323118760317.
2. Hwang Y.-W., Lee I.-Y., Kim H., Lee H., Kim D. Current Status and Security Trend of OSINT // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022. Article ID 1290129. DOI: 10.1155/2022/1290129.
3. Layton R., Watters P. A. Automating Open Source Intelligence: Algorithms for OSINT. Elsevier, 2016. 211 p.
4. Lande D. V., Shnurko-Tabakova E. OSINT as a part of cyber defense system // *Theoretical and Applied Cybersecurity*. 2019. Vol. 1, No. 1. P. 103–108. DOI: 10.20535/tacs.2664-29132019.1.169091.
5. Користін О. OSINT Open Source Intelligence. Теорія та методологія: монографія / Користін О., Демедюк С., Барановський О., Ланде Д. та ін. за заг.ред. Користіна О.Є., Демедюка С.В. Київ: 7БЦ, 2025. 304 с.
6. Користін О. OSINT Open Source Intelligence. Інструменти та методи: навчальний посібник / Користін О., Демедюк С., Ісмайлов К., Ланде Д. та ін. за заг.ред. Користіна О.Є., Демедюка С.В. Київ: 7БЦ, 2025. 460 с.
7. Rajamäki J., McMenamin S., Tiitta K. Utilization and Sharing of Cyber Threat Intelligence Produced by Open-Source Intelligence // *Proceedings of the 19th International Conference on Cyber Warfare and Security (ICCWS)*. 2024. DOI: 10.34190/ICCWS.19.1.2069.
8. Мірошніченко, І. О. Роль методів OSINT в кібербезпеці та їх застосування під час воєнних конфліктів / І. О. Мірошніченко, Д. В. Ланде // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики: матеріали XXII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, [Київ], 13−17 травня 2024 р. / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. С. 282-284.
9. Browne T. O., Abedin M., Chowdhury M. J. M. A Systematic Review on Research Utilising Artificial Intelligence for Open Source Intelligence (OSINT) Applications // *International Journal of Information Security*. 2024. Vol. 23, No. 4. P. 2911–2938. DOI: 10.1007/s10207-024-00868-2.

УДК 004.056

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33764

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ПРОТОКОЛУ SSH

Петков Євген Ігорович.
Аспірант, спеціальність 125
"Кібербезпека та захист інформації",
Міжнародний університет
yepetkov@gmail.com
Науковий керівник,
Йона Лариса Григорівна, к.т.н.,
Завідувач, доцент кафедри Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Факультету Кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародного університету
yonalarisa66@gmail.com

Анотація. *У дослідженні проаналізовано принцип функціонування протоколу SSH, сучасні криптографічні методи захисту інформації, що лежать в його основі, а також перспективи подальшого розвитку цього протоколу.*

Протокол SSH (Secure Shell) використовується для створення захищеного з'єднання між клієнтом і сервером через ненадійний (незахищений) канал зв'язку з метою виконання команд, керування мережевими пристроями та передачі файлів. Він забезпечує шифрування всіх даних, що передаються між SSH-клієнтом та SSH-сервером, гарантуючи конфіденційність, цілісність інформації та автентифікацію під час віддаленого доступу й обміну файлами.

Протокол SSH був створений Тату Ілоненом в 1995 році в Гельсінському технологічному університеті після атак на мережу університету, які показали незахищеність протоколів на кшталт Telnet або Rlogin. Перша версія SSH-1 швидко поширилася завдяки підтримці шифрованого віддаленого доступу, але через виявлені деякі архітектурні проблеми та вразливості з часом її замінив SSH-2, який отримав покращені механізми шифрування, обміну ключами та автентифікації й став сучасним стандартом SSH.

Найбільш розповсюдженим є використання протоколу SSH:

- для віддаленого підключення до серверів та передачі команд для керування системою;
- для захищеної передачі файлів за допомогою протоколів SCP (Secure File Copy), або SFTP (SSH File Transfer Protocol).

Протокол SSH забезпечує безпеку завдяки трьом основним рівням: транспортному, рівню автентифікації користувача та рівню з'єднання. Кожен із

них виконує окремі функції, які спільно формують захищений канал зв'язку між клієнтом і сервером.

Етапи встановлення SSH з'єднання зображено на рис.1

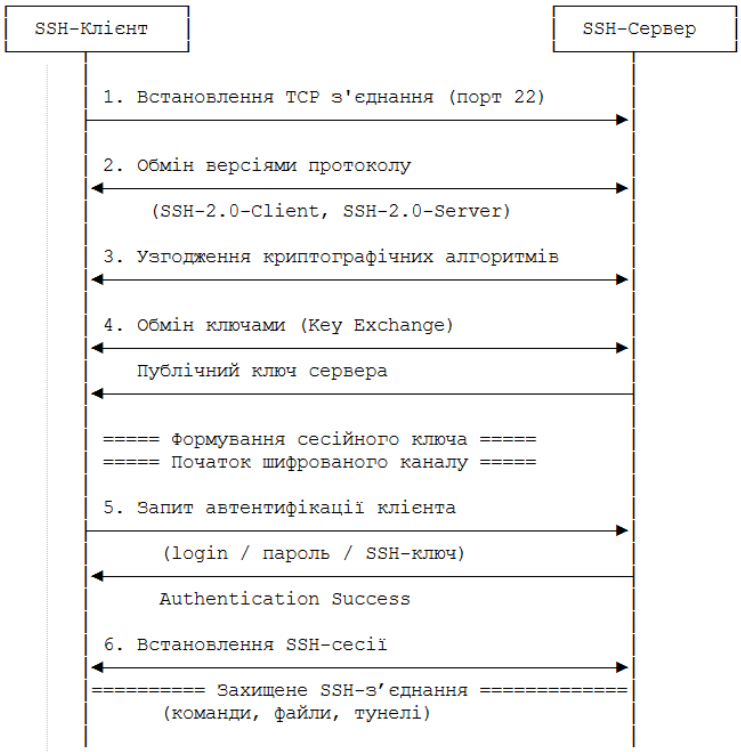


Рисунок 1 – Етапи встановлення SSH з'єднання

SSH-клієнт ініціює процес встановлення TCP-з'єднання до сервера (як правило по порту 22, але це може бути і нестандартний порт).

Далі клієнт і сервер надсилають один одному інформацію про версію SSH-протоколу (наприклад, SSH-2.0-OpenSSH). Цей етап дозволяє визначити, яку версію SSH підтримують обидві сторони та перевірити сумісність клієнта та сервера.

Після цього клієнт і сервер погоджують криптографічні алгоритми, які будуть використовуватися для захисту з'єднання: методи шифрування, алгоритми обміну ключами та механізми перевірки цілісності повідомлень. На цьому етапі сторони обирають спільно підтримувані та найбільш безпечні алгоритми. У сучасних реалізаціях SSH зазвичай застосовуються алгоритми шифрування AES, а також протоколи обміну ключами Diffie–Hellman (DH) або Elliptic Curve Diffie–Hellman (ECDH).

На наступному етапі сервер надсилає клієнту свій відкритий ключ (наприклад, RSA, DSA або інший узгоджений алгоритм). Клієнт перевіряє справжність сервера та достовірність отриманого ключа. Після підтвердження довіри клієнт і сервер за допомогою алгоритму Диффі–Хеллмана (або його

сучасних реалізацій) спільно формують сеансовий ключ, який надалі використовується для симетричного шифрування SSH-з'єднання. Після цього з'єднання вже шифрується.

На стадії автентифікації клієнт може підтвердити свою особу перед сервером декількома способами:

- Автентифікація за паролем – це найпростіший спосіб входу, що використовує ім'я користувача та пароль. Однак цей метод є менш безпечним через вразливість до підбору паролів і викрадення облікових даних.
- Автентифікація за допомогою ключів є безпечнішим методом, ніж парольна, оскільки використовує пару асиметричних ключів: приватний та публічний, які математично пов'язані друг з другом. Приватний ключ є секретним та зберігається локально тільки у SSH-клієнта. Публічний ключ є відкритим та розміщується на сервері для автентифікації цього клієнта. Їх криптографічний зв'язок дає змогу підтвердити особу користувача без передачі приватного ключа мережею, що значно зменшує ризик компрометації облікових даних. Розповсюджені тут асиметричні алгоритми: RSA, ECDSA, Ed25519, з яких Ed25519 - найсучасніший та найбезпечніший.
- Багатофакторна аутентифікація передбачає використання кількох способів підтвердження особи, наприклад SSH-ключа та одноразового пароля на основі часу. Такий підхід забезпечує підвищений рівень захисту для критично важливих систем.

Після успішної автентифікації між клієнтом і сервером створюється логічний канал, через який можна запускати shell-сесію, виконувати команди, здійснювати тунелювання портів або передавати файли за допомогою SCP чи SFTP.

Рекомендації щодо оптимального налаштування протоколу SSH:

- Використувавути інший нестандартний TCP порт (замість 22 за замовчуванням).
- Захистити доступ до SSH сервера правилами доступа на основі міжмережевого екрану.
- Використовувати автентифікацію за допомогою ключів замість автентифікації за паролем.
- Обмежити кількість невдалих спроб автентифікації (наприклад за допомогою програми «fail2ban»).

Потенційним майбутнім викликом для SSH є поява потужних квантових комп'ютерів, здатних зламати поточні алгоритми криптозахисту. Проте поточна модульна архітектура протоколу SSH дозволяє впроваджувати (додавати до

нього) нові, швидші та надійніші криптографічні алгоритми захисту в постквантовий період.

Висновки. SSH - це універсальний протокол для організації безпечного доступу до віддалених систем, передачі команд керування, а також захищеного трансферу файлів через незахищене середовище. В основі цього протоколу лежать відомі базові криптографічні алгоритми, наприклад, AES (симетричне шифрування), RSA (аутентифікація), DH (обмін ключів) та їх більш сучасні модифікації. Модульна архітектура SSH створює умови для інтеграції нових, продуктивніших і надійніших криптографічних механізмів захисту в умовах постквантових загроз.

Література

1. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПРОТОКОЛІВ. Є. І. Петков. URL: https://doi.org/10.36059/978-966-397-479-8-130.
   SSH, The Secure Shell: The Definitive Guide. Daniel J. Barrett, Richard Silverman. URL: https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Operating%20Systems/Linux/SSH%20%26%20VPN/O%27Reilly%20-%20SSH%20The%20Secure%20Shell%20The%20Definitive%20Guide.pdf.
2. SSH (Secure Shell): Complete Guide to Secure Remote Access. URL: https://prehost.com/what-is-ssh/.
3. Wikipedia. Transport Layer Security. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Transport_Layer_Security.
4. SSH Protocol – Secure Remote Login and File Transfer. URL: https://www.ssh.com.
5. AWS: What is Secure File Transfer Protocol (SFTP)? URL: https://aws.amazon.com/what-is/sftp/.

УДК 004.056.53

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33765

СИСТЕМНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ АВТЕНТИФІКАЦІЇ МЕХАНІЗМІВ У ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Пахолюк Олег Ігорович
Аспірант, спеціальність 125
"Кібербезпека та захист інформації",
Міжнародний університет, м. Одеса, Україна
Olegpah@proton.me
Науковий керівник,
Йона Лариса Григорівна, к.т.н.,
Завідувач, доцент кафедри Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Факультету Кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародного університету
yonalarisa66@gmail.com

Анотація. *В дослідженні пропонується метод комплексного аналізу автентифікаційних механізмів інформаційних систем та виявлення вразливостей. Запропонований метод поєднує систематизацію загроз із практичними інструментами ідентифікації, що узгоджується з сучасними стандартами безпеки. Результати підтверджують його ефективність у підвищенні захисту інформаційних ресурсів.*

Для забезпечення інформаційної безпеки основну роль виконують протоколи автентифікації, адже вона визначає, чи має користувач право доступу до ресурсів системи. За даними ENISA (Агентство Європейського Союзу з кібербезпеки), понад 40% інцидентів у сфері кібербезпеки пов'язані саме з компрометацією автентифікаційних процедур [1]. Це зумовлює необхідність розробки комплексних методів аналізу та виявлення вразливостей, які поєднують теоретичні моделі та практичні інструменти.

Серед основних вразливостей протоколів автентифікації можна виділити кілька категорій, кожна з яких має власні характеристики та методи виявлення.

Найчастіше відбуваються випадки слабких чи повторно використаних паролів, що є найпоширенішою причиною компроментації облікових записів. Цей факт створює умови для атак типу «brute force» та «credential stuffing».

Крім того, часто паролі зберігаються у відкритому вигляді або використовуються застарілі алгоритми хешування, які не відповідають сучасним вимогам криптографічної стійкості. Це надає можливості зловмисникам отримати доступ до баз даних та відновити автентифікаційні дані користувачів.

Також серйозну загрозу становить використання застарілих протоколів автентифікації, таких як NTLM чи PAP. До того ж, багатофакторна автентифікація (MFA), яка розглядається як більш надійний механізм, має

власні слабкі місця. Використання SMS-кодів як другого фактору може бути небезпечним через можливість їх перехоплення або здійснення атак «SIM swapping», що вже неодноразово фіксувалося у звітах міжнародних агентств [1]. Це свідчить про необхідність переходу до більш захищених методів, таких як апаратні токени чи мобільні додатки-генератори кодів.

Додатковим джерелом ризику виступають методи соціальної інженерії та фішингові атаки, спрямовані на викрадення автентифікаційних даних користувачів. Зловмисники активно застосовують електронну пошту, месенджери та підроблені веб-ресурси для введення користувачів в оману. За даними ENISA (2022), фішинг залишається одним із найпоширеніших способів компрометації автентифікаційних механізмів, що підтверджує необхідність комплексного підходу до їх захисту. Основні техніки соціальної інженерії та фішингових атак охоплюють фішинг, вішинг, смішинг, бейтінг, прітекстинг та інсайдерські загрози. Вони ґрунтуються на психологічних маніпуляціях, спрямованих на отримання доступу до конфіденційної інформації. Соціальна інженерія не передбачає технічного зламу систем, а базується на використанні людського фактору. Саме тому ключовими заходами протидії є навчання персоналу, застосування багатофакторної автентифікації та моніторинг поведінкових моделей користувачів [2].

Комплексний підхід ґрунтується на інтеграції різних методів оцінки безпеки. Використання автоматизованих сканерів (Nessus, OpenVAS) забезпечує виявлення некоректних конфігурацій системи. Аналіз мережевого трафіку дозволяє фіксувати випадки передачі незашифрованих автентифікаційних даних. Проведення тестів на проникнення моделює реальні сценарії атак з метою перевірки стійкості системи. Додатково аудит політик доступу та контроль журналів автентифікації сприяють своєчасному виявленню аномальних спроб входу.

Моделювання атак та аналіз каналів доставки кодів у багатофакторній автентифікації здійснюється не одним конкретним алгоритмом, а комплексом методологій і технік: STRIDE, DREAD, PASTA, LINDDUN, Attack Trees, Side-channel analysis. Вони дозволяють систематизувати загрози, оцінити ризики та перевірити стійкість каналів доставки кодів (SMS, push-сповіщення, токени).

Моделювання атак роблять для того, щоб перетворити потенційні загрози на контрольовані сценарії, які можна дослідити, оцінити та використати для вдосконалення системи захисту.

Комплексний метод аналізу реалізується поетапно. Спершу здійснюється систематизація загроз, що дозволяє класифікувати ключові вразливості автентифікаційних механізмів. Далі проводиться моделювання атак, яке забезпечує створення контрольованих сценаріїв для перевірки стійкості системи. Наступним етапом є аналіз каналів доставки автентифікаційних кодів, що дає змогу оцінити надійність SMS-повідомлень, push-сповіщень та апаратних токенів. Інструментальний аудит використовується для перевірки конфігурацій, політик доступу та виявлення технічних недоліків. На основі

отриманих результатів здійснюється оцінка ризиків із визначенням їх пріоритетності, що дозволяє виділити найбільш критичні загрози. Завершальний етап передбачає розробку заходів протидії, які включають впровадження сучасних криптографічних алгоритмів, оновлення протоколів автентифікації та підвищення рівня обізнаності персоналу.

Можна зробити висновок, що комплексний метод поєднує аналітичну, технічну та організаційну складові, що забезпечує проактивний підхід до захисту автентифікаційних механізмів. Його застосування дозволяє не лише підвищити рівень кіберзахисту, але й забезпечити відповідність сучасним міжнародним та національним вимогам у сфері інформаційної безпеки.

Висновки. У таблиці 1 представлено основні результати застосування комплексного методу аналізу автентифікаційних механізмів.

Запропонований комплексний метод аналізу та виявлення вразливостей автентифікаційних механізмів поєднує систематизацію загроз із практичними інструментами їх виявлення. Це дозволяє підвищити рівень захисту інформаційних систем та забезпечити відповідність сучасним міжнародним і національним стандартам.

Таблиця 1 - Результати експериментальної перевірки методу

№	Етап	Дія	Результат
1	Систематизація загроз	Класифікація основних вразливостей автентифікаційних механізмів	Визначено критичні точки ризику для подальшого аналізу
2	Моделювання атак	Створення контрольованих сценаріїв проникнення	Підтверджено здатність системи протидіяти реальним атакам
3	Аналіз доставки кодів	Оцінка надійності SMS, push-сповіщень та апаратних токенів	Виявлено слабкі та сильні сторони різних каналів автентифікації
4	Інструментальний аудит	Перевірка конфігурацій, політик доступу та технічних налаштувань	Виявлено помилки конфігурації та недоліки політик
5	Оцінка ризиків	Пріоритизація загроз на основі отриманих даних	Сформовано перелік найбільш критичних ризиків
6	Розробка заходів протидії	Впровадження сучасних криптографічних алгоритмів, оновлення протоколів, навчання персоналу	Підвищено рівень захисту інформаційних ресурсів та відповідність міжнародним стандартам

Література

1. Threat Landscape 2022. European Union Agency for Cybersecurity, 2022.
2. Hideez. Що таке соціальна інженерія в кібербезпеці? Реальні приклади та методи запобігання. Київ: Hideez, 2024.
   URL: https://hideez.com/uk-ua/blogs/news/social-engineering
3. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection

— Information security management systems — Requirements. International Organization for Standardization, 2022.
4. NIST Special Publication 800-63-3. Digital Identity Guidelines. National Institute of Standards and Technology, 2017.
5. OWASP Authentication Cheat Sheet. OWASP Foundation, 2023.
6. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. Методичні рекомендації щодо організації систем автентифікації та управління доступом. Київ, 2021.
7. Йона Л. Г., Пахолюк О.І. Методи виявлення слабких місць інформаційних систем у процесах підтвердження справжності користувача // Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії (ATICE'2025) : зб. матеріалів міжнар. конф. (зимовий форум) / відп. ред. І. М. Соловська, Д. М. Розенвассер. – Одеса : Міжнародний університет, 2025. – С. 101-105. – Режим доступу: https://doi.org/10.32837/11300.31453

СЕКЦІЯ 5.
ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

УДК 004.738.5:004.8

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33766

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ У МЕРЕЖАХ 5G/NR

Стрелковська І.В., д.т.н., професор,
Міжнародний університет,
i.strelkovskaya@mgu.edu.ua
Соловська І.М., к.т.н., доцент,
Міжнародний університет,
i.solovskaya@mgu.edu.ua,
Брославський Р.Ю.
Бакалавр зі спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»,
Міжнародний університет

Анотація. *Розглянуто розрахунок параметрів якості обслуговування трафіку 5G/NR для груп послуг eMBB, mMTC, URLLC. Обґрунтовано застосування СМО, в якій вхідний потік заявок підпорядковується розподілу Вейбула. Розглянуто залежність параметрів трафіку від коефіцієнту Херста, залежності середнього часу затримки пакетів W від інтенсивності надходження запитів, середньої кількості заявок у черзі Q коефіцієнта завантаження системи та середньої довжини черги L від коефіцієнта завантаження системи ρ для різних значень параметра Херста H. Отримані результати параметрів трафіку СМО дозволяють надати рекомендації для різних умов його обслуговування з метою використання мережевих ресурсів та забезпечення підтримки нормативних значень параметрів якості обслуговування [1-4].*

Сучасним напрямком розвитку телекомунікаційної інфраструктури є активне розгортання мереж п’ятого покоління 5G/NR (New Radio). Неперервне зростання обсягів інформаційних потоків та розширення спектра пристроїв вимагає переходу до нових принципів організації радіодоступу та управління мережевими ресурсами. Опорна мережа 5G Core та базові станції gNB орієнтовані на одночасне обслуговування різних класів послуг, які згідно специфікаціям 3GPP визначаються групами послуг, таких як послуги надширокосмугового доступу eMBB (Enhanced Mobile Broadband), масові міжмашинні комунікації mMTC (Massive Machine-Type Communications) та надзвичайно надійні з'єднання з низькою затримкою URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications). Для злагодженої роботи мережі 5G/NR важливим є забезпечення обслуговування трафіку з підтримкою характеристик якості QoS (Quality of service) та досягнення нормативних значень пропускної спроможності, часу затримки і довжини черги заявок [5-8].

Метою даної роботи є аналіз показників якості обслуговування трафіку базовими станціями gNB мережі 5G/NR з метою підвищення використання мережевих ресурсів та забезпечення нормативних значень параметрів якості обслуговування.

Розглянемо рішення задачі аналізу параметрів якості обслуговування QoS при наданні послуг мережі 5G/NR, коли базові станції gNB представлені як системи масового обслуговування (СМО) з очікуванням та визначеною ємністю буферного пристрою N. Використовуючи підхід до розрахунку характеристик якості СМО, яка обслуговує потік заявок, розподілених за законом Вейбулу, наведений в роботі [1], знайдемо значення кореню σ згідно виразу [9]:

$$\sigma = \sum_{n=1}^{n} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n \frac{\Gamma(n\alpha)}{(\mu - \mu\sigma)^{n\alpha}}, \; n\alpha > 0, \tag{1}$$

де α – параметр форми кривої розподілу Вейбула, 0< α < 1, α = 2 – 2H, H – параметр Херста; 0,5 < H < 1, $\beta = \left[\lambda\Gamma\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)\right]^{\alpha}$ – параметр розподілу Вейбула; β > 0, λ – інтенсивність надходження заявок на обслуговування в СМО, Γ(*k*) – гама-функція Ейлера виду $\Gamma(k) = \int_0^{+\infty} t^{k-1} e^{-1} dt$.

Середній час очікування W обслуговування заявки в СМО, що обслуговує вхідний потік заявок, розподілених за законом Вейбула, а час обслуговування – за експоненціальним законом розподілу проміжків часу між надходженням заявок на обслуговування в СМО та скінчену чергу обчислюється за допомогою виразу [9]:

$$W = \frac{\sigma}{\mu(1-\sigma)}, \tag{2}$$

де μ – інтенсивність обслуговування заявок в СМО, σ – корень рівняння (1).

Для визначення середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО розглянуто: ємність буферного пристрою N = 1000 заявок, інтенсивність обслуговування запитів в СМО становить μ = $1{,}5\times10^3$; параметр Херста та параметр форми кривої α розподілу Вейбула, який становить α = 0,8 для H = 0,6; α = 0,6 для H = 0,7; α = 0,4 для H = 0,8 та α = 0,2 для H = 0,9. Розрахунок значення кореню σ наведено у табл. 1.

Таблиця 1 − Розрахунок кореня σ для різних значень коефіцієнту Херста

Показник	Значення							
Інтенсивність надходження запитів λ, заявок/с	$0{,}1\times10^3$	$0{,}2\times10^3$	$0{,}3\times10^3$	$0{,}4\times10^3$	$0{,}5\times10^3$	$0{,}6\times10^3$	$0{,}7\times10^3$	$0{,}8\times10^3$
Значення кореня, σ, H = 0,5	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,39	0,40	0,47

Значення кореня, σ, H = 0,6	0,12	0,20	0,28	0,36	0,42	0,49	0,53	0,54
Значення кореня, σ, H = 0,7	0,22	0,33	0,42	0,49	0,56	0,62	0,66	0,68
Значення кореня, σ, H = 0,8	0,44	0,56	0,64	0,70	0,75	0,79	0,81	0,82
Значення кореня, σ, H = 0,9	0,70	0,77	0,85	0,88	0,89	0,90	0,92	0,95

Графік залежності середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО від інтенсивності надходження запитів $\lambda \in [0;0{,}8\times10^3]$ для різних значень параметра Херста H = 0,5; H = 0,6; H = 0,7; H = 0,8; H = 0,9 показано на рис. 1.

Значення середнього часу затримки W відповідно до рис. 1 зростає відповідно до збільшення значення інтенсивності надходження запитів на обслуговування λ причому, із збільшенням значення інтенсивності до $\lambda = 0{,}6\times10^3$ заявок/с для значення параметра Херста до H = 0.9. Такий зріст спостерігається для значення часу очікування W обслуговування заявки в СМО, наприклад, при значенні $\lambda = 0{,}8\times10^3$ заявок/с, значення середнього часу затримки становить W = 11,679 мс. Отримані результати свідчать про необхідність передбачення певних заходів щодо підтримки показників якості обслуговування для значення інтенсивності надходження заявок більш ніж $\lambda = 0{,}8\times10^3$ заявок/с з метою збільшення пропускної спроможності та розміру буферних пристроїв базових станцій gNB.

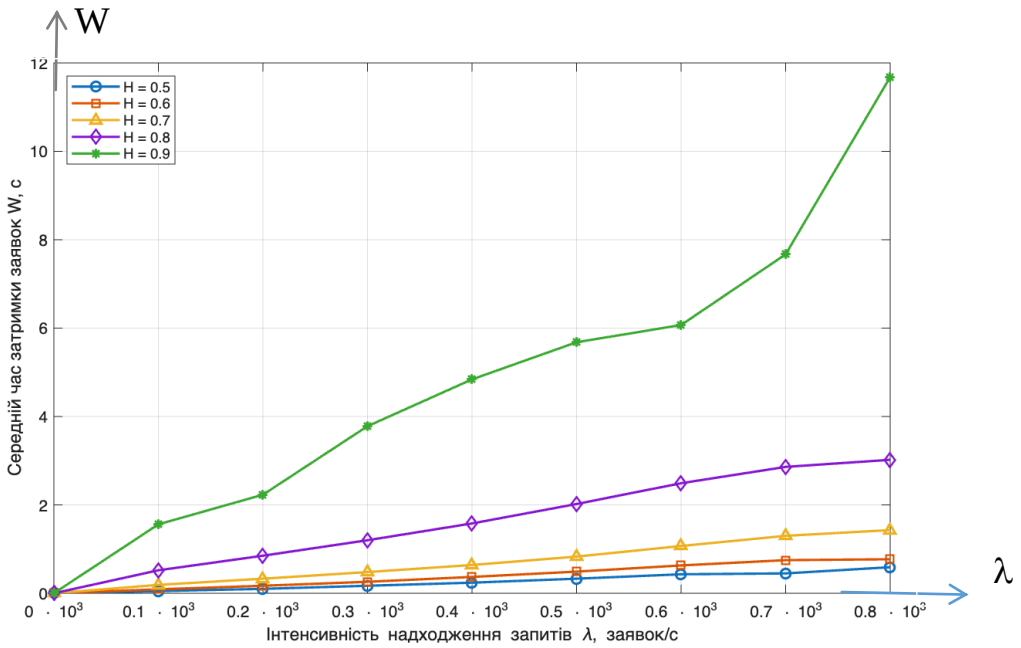


Рисунок 1 – Залежність середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО від інтенсивності надходження запитів λ

Окремої уваги при проведенні аналізу параметрів якості обслуговування трафіку 5G/NR є особливості при обслуговуванні трафіку груп послуг eMBB, mMTC, URLLC критичних до значення середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО та довжини черги L в буферних пристроях СМО. Кожна з розглянутих груп послуг має особливості обслуговування трафіку, послуги eMBB генерують найбільший обсяг трафіку, оскільки орієнтовані на передачу мультимедійного контенту високої якості та широкосмуговий доступ до мережі Інтернет (час затримки становить 4-20 мс), послуги mMTC характеризується великою кількістю IoT-пристроїв, які генерують невеликі обсяги трафіку через значні проміжки часу (час затримки становить 100 мс, оскільки більшість IoT-пристроїв не працюють у режимі реального часу). Послуги URLLC є критичними для трафіку реального часу та вимог до значення затримки, зазвичай передають невеликі або середні обсяги даних, але з надзвичайно високими вимогами до часу затримки та швидкості передавання, зумовлюючи підтримку критично важливих послуг реального часу (час затримки становить до 2 мс) [5-10].

Зважаючи на вищезазначені особливості обслуговування трафіку для різних груп послуг eMBB, mMTC та URLLC, доцільно розглянути два сценарії обслуговування трафіку в СМО:

– для групи послуг mMTC, що визначаються трафіком з параметром Херста H = 0,6, H = 0,7, H = 0,8, що має інтенсивність без пульсуючої структури та різких сплесків перевищення значень середнього часу затримки W обслуговування заявок в СМО;

– для груп послуг eMBB та URLLC, що визначаються трафіком з параметром Херста H = 0.9 та пульсуючим трафіком зі значною кількістю сплесків та чутливістю до значення середнього часу затримки W обслуговування заявок в СМО.

Розглянемо наведені сценарії обслуговування трафіку в СМО для області завантаження СМО $\rho \in [0,5;0,9]$, яка має стрімке зростання середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО та середньої довжини черги L заявок в СМО, при умові, що ємність буферного пристрою обмежена та становить N = 1000 заявок. Для розрахунків використані значення інтенсивності вхідного потоку заявок $\lambda = 0,5 \times 10^3$ заявок/с та $\lambda = 1,5 \times 10^3$ заявок/с.

Для першого сценарію обслуговування трафіку в СМО групи послуг mMTC H = 0,6, H = 0,7, H = 0,8, значення параметра обрано H = 0.8, коефіцієнт завантаження СМО на проміжку $\rho \in [0,5;0,9]$. Для другого сценарію групи послуг eMBB та URLLC, що визначаються параметром Херста H = 0.9, коефіцієнт завантаження СМО становить $\rho \in [0,5;0,9]$.

Для розглянутих сценаріїв інтенсивності обслуговування заявок в СМО розглянуто на проміжку $\mu \in [1\times10^3;1,8\times10^3]$, що дозволяє визначити вплив алгоритмів функціонування базових станцій gNB на параметри якості обслуговування трафіку. Результати розрахунків значення середнього часу

затримки W обслуговування заявки в СМО для групи послуг mMTC H = 0,8 та групи послуг eMBB та URLLC H = 0,9 для заданої інтенсивності обслуговування заявок μ на проміжку $\mu \in [1\times10^3;1{,}8\times10^3]$ показано на рис. 2.

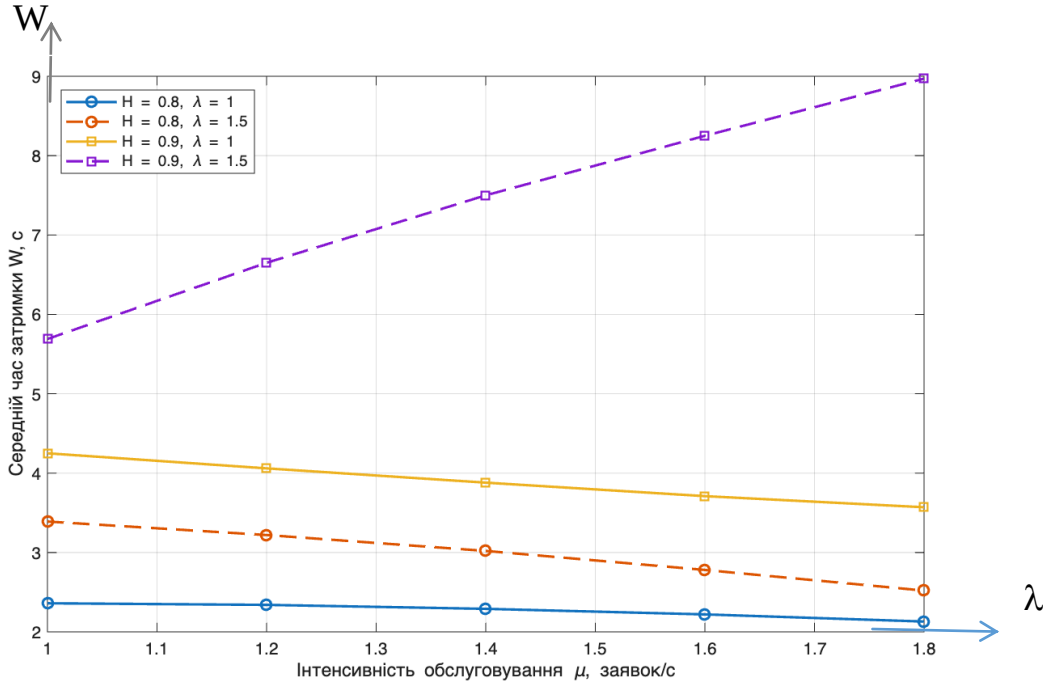


Рисунок 2 – Залежність середнього часу очікування W обслуговування заявки в СМО від інтенсивності обслуговування заявок μ для групи послуг mMTC (H = 0,8) та групи послуг eMBB та URLLC (H = 0,9)

Неважко бачити, що значення середнього часу затримки W для групи послуг mMTC H = 0,8 демонструє зменшення зі зростанням інтенсивності обслуговування μ трафіку у СМО. Для інтенсивності надходження заявок $\lambda = 1\times10^3$ заявка/с значення часу затримки обслуговування W зменшується від 2.36 до 2.13 мс, що становить 9,7 %. Для $\lambda = 1{,}5\times10^3$ заявки/с середній час затримки зменшується від 3.39 с до 2,52 мс, що відповідає скороченню майже на 25,7 %.

Однак, для групи послуг eMBB та URLLC зі значенням коефіцієнта Херста H = 0,9 та інтенсивності надходження заявок λ = 1.5 заявки/с спостерігається стрімке зростання часу очікування W обслуговування заявки в СМО, що дозволяє стверджувати, що обслуговування трафіку послуг eMBB та URLLC в СМО, демонструє наближення функціонування СМО до граничного режиму функціонування, коли навіть за зростання інтенсивності обслуговування навантаження на проміжку $\mu \in [1\times10^3;1{,}8\times10^3]$ збільшується швидше, ніж можливості СМО до обслуговування заявок. Така ситуація потребує збільшення буферних ресурсів СМО для підтримки показників якості обслуговування.

Висновки. 1. Проведений аналіз параметрів якості обслуговування трафіку дозволяє зробити наступні рекомендації за результатами отриманих даних щодо забезпечення необхідного рівня якості обслуговування послуг в

мережах 5G/NR. При обслуговуванні трафіку груп послуг mMTC, eMBB та URLLC для області завантаження СМО на проміжку $\rho \in [0,5;0,9]$ доцільно передбачати додатковий резерв пропускної здатності буферних пристроїв базової станції gNB з метою забезпечення якості обслуговування.

2. Згідно проведених розрахунків слід зазначити, що для групи послуг eMBB та URLLC H = 0,9 та інтенсивності надходження заявок $\lambda = 1,5\times10^3$ заявки/с досліджується різке збільшення середнього часу затримки обслуговування заявок в СМО W = 9 мс, що свідчить про необхідність збільшення ємності буферних ресурсів СМО та підтримання коефіцієнта завантаження ρ мережевих елементів на рівні не вище $\rho \in [0,7;0,8]$ для запобігання різкому зростанню часу затримки.

3. Для послуг URLLC, які є послугами реального часу та мають високі вимоги до значення часу затримки обслуговування в СМО доцільно застосовувати механізми пріоритетного обслуговування трафіку та розглядати СМО з пріоритетами, дозволяючи розділити трафік на класи, передбачаючи обслуговування трафіку з різними рівня пріоритету. Оскільки такі сервіси характеризуються жорсткими вимогами до затримки та надійності передачі даних, доцільно використовувати виділені мережеві ресурси, механізми попереднього резервування ресурсів радіоінтерфейсу та пріоритезацію на рівні базової станції gNB.

Література

1. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J., Makoganiuk A. Software implementation research of self-similar traffic characteristics of mobile communication networks. In: Klymash M., Beshley M., Luntovskyy A. (eds) Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 831. Springer, Cham, 2021, pp. 288-304.
2. GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System (5GS); Stage 2 (Release 15). – 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
3. 3GPP TS 38.300. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2. –3GPP.
4. Recommendation ITU-T G.1000. Communications quality of service: A framework and definitions. – International Telecommunication Union, 2001.
5. Xu, Y., Li, Q., Meng, S. (2019). Self-similarity Analysis and Application of Network Traffic. In: Yin, Y., Li, Y., Gao, H., Zhang, J. (eds) Mobile Computing, Applications, and Services. MobiCASE 2019. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 290. Springer, Cham.
6. Гамрецький, В., Гнатюк, В. (2025). Метод оцінки якості програмного забезпечення ядра 5G. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 355(4), 106-111.
7. Площик, А., Політанський, Р. (2024). моделювання та аналіз параметрів та характеристик широкосмугових антенних пристроїв у системах зв’язку WI-

FI, 5G та мережах IoT. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 343(6(1), 201-207.
8. Поповський В. В. Математичні основи управління якістю в телекомунікаційних мережах / В. В. Поповський. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – 412 с.
9. Strelkovskaya I.V. Self-similar traffic in G/M/1 queue defined by the Weibull distribution/ I.V. Strelkovskaya, T.I. Grygoryeva, I.N. Solovskaya // Radioelectronics and Communications Systems. – 2018. – V. 61, № 3 (2018). – P. 173-180.
10. Strelkovskaya I. Research of the quality characteristics of self-similar traffic of a mobile communications network on the basis of software release / I. Strelkovskaya, I. Solovskaya, A. Makoganiuk, A. Balyk // Information and telecommunication sciences. – 2020. – V. 11, № 2(21), 2020. – P. 51-57.

УДК 621.39:004.85

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33767

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТУ СЕМАНТИЧНОЇ КОМУНІКАЦІЇ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ

Уривський Л.О
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електронних комунікацій та Інтернету речей,
НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
Осипчук С.О.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронних комунікацій та Інтернету речей,
НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна

Анотація. *Дослідження присвячене новому підходу до обробки інформації каналу зв'язку шляхом інтеграції методів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН). Доповідь розкриває ідею зміни процедур обробки дискретних сигналів (ОДС) у традиційних біт-орієнтованих системах на семантичну комунікацію (СК), яка передбачає реконструкцію значення інформації, а не лише бітів.*

У доповіді пропонується математична модель для оцінки впливу ШІ на ОДС.

Постановка проблеми.

Фундаментальною метою теорії комунікації було наближення до межі пропускної здатності каналу Шеннона, теоретичної стелі, яка визначає

максимальну швидкість безпомилкової передачі даних через канал із зашумленням.

Однак останнім часом відбулася зміна мислення в бік впровадження ШІ та МН у ОДС, а також розглядання процесу комунікації не як відтворення бітів, а як реконструкції інформації та її значення, тобто її семантики.

Дослідження останніх кількох років особливо варті уваги для ОДС зі ШІ. СК перетворилася з теоретичної новинки на окрему інженерну дисципліну та зосереджена на передачі інформації, а не на передачі даних. Галузь СК все ще перебуває на початковій стадії розвитку, пропонуючи численні можливості для подальших досліджень.

У статті [1] систематично підсумовано розвиток теорії семантичної інформації, охоплюючи дослідження семантичної ентропії, статистичної ймовірності, логічної ймовірності, коефіцієнта семантичного спотворення, семантичного кодування, семантичного шуму та пропускної здатності семантичного каналу.

Важливо зазначити, що семантична комунікація та практичне застосування методів штучного інтелекту здебільшого пов'язані з їх використанням для прийнятних сценаріїв уникнення втрати даних, таких як передача відео- або зображень.

Відомі методи використання машинного навчання (МН) та ШІ в СК.

Технологія JSCC (joint source-channel coding – спільне кодування вихідного каналу) має модифікацію на основі глибокого навчання (DeepJSCC) – коли цифрові системи припиняють передавати дані, як тільки умови каналу падають нижче порогового значення. Алгоритм DeepJSCC може бути ефективно застосований, зберігаючи семантичні переваги в передачі даних за допомогою ШІ у взаємодії з цифровими схемами багатопозиційної маніпуляції.

Семантично-керована дифузія (SGD-JSCC) використовує генеративні можливості моделей дифузії. Вона реконструює високоякісні дані з вхідних даних каналу з шумом; результати демонструють задовільну ефективність відновлення при надзвичайно низькому співвідношенні сигнал/шум.

Легка глибока JSCC – реалізація *семантичної комунікації* на периферійних пристроях, таких як Інтернет речей (IoT), вимагає дотримання суворих обчислювальних обмежень.

Генеративний ШІ (GenAI) – безпосередньо реконструює передані дані. Цей підхід особливо підходить для передачі мультимедійного трафіку, де можна використовувати попередні знання про структуру даних (наприклад, статистику природних зображень).

Запропонована модель.

Запропонована ідея полягає у збільшенні продуктивності каналів зв'язку на основі застосування методів ШІ для цифрової обробки сигналів (DSP), щоб ШІ міг відтворювати інформаційні об'єкти, такі як відео, зображення та текст, на приймальній стороні, навіть при низькій якості передачі бітів через канал зв'язку.

Сценарій 1. Зберігаючи ту саму потужність передавача P, використовуючи ШІ для обробки сигналу на приймальній стороні, можна контролювати такі параметри: збільшити відстань L, що спростить та зменшить вартість мережевої інфраструктури; збільшити багатопозиційну маніпуляцію M, що підвищить продуктивність каналу зв'язку; збільшити швидкість завадостійкого кодування r_k, що збільшить пропускну здатність каналу зв'язку.

Сценарій 2. Якщо прагнути зберегти ту саму дальність передачі L, то використовуючи штучний інтелект для обробки сигналів на стороні приймача, можна контролювати такі параметри: зменшити потужність передавача P; збільшити багатопозиційну маніпуляцію M, що збільшить пропускну здатність каналу зв'язку; збільшити швидкість завадостійкого кодування r_k, що збільшить пропускну здатність каналу зв'язку.

Математична модель для сценарію 1.

Мета: оптимізувати параметри каналу зв'язку за допомогою інтелектуальної обробки сигналу на приймальному кінці.

Постійні параметри: *P* - потужність передавача [Вт],

B - смуга пропускання каналу [Гц],

N_0 - спектральна щільність шуму [Вт/Гц].

Керовані параметри (залежно від роботи ШІ):

L - дальність передачі [м],

M – розмір багатопозиційної маніпуляції,

r_k - швидкість кодування,

N - кількість несучих OFDM.

Математичний опис базової системи (без ШІ, $\alpha = 0$), потужність прийнятого сигналу P_r:

$$P_r = P \cdot G_t \cdot G_r \cdot (\lambda/(4\pi L_0))^2 \cdot L_0^{-n} \quad (1)$$

Потужність сигналу на приймачі залежить від втрат вздовж траєкторії, де G_t, G_r - коефіцієнти посилення передавальної та приймальної антен, λ - довжина хвилі, n - коефіцієнт ослаблення , L_0 - базова відстань.

Базове значення співвідношення сигнал/шум (SNR_0) визначає якість зв'язку без використання ШІ:

$$SNR_0 = P_r/(N_0 \cdot B) \quad (2)$$

де N_0 - спектральна щільність шуму [Вт/Гц], B - смуга пропускання каналу [Гц].

Модель впливу ШІ.

Введемо параметр α - коефіцієнт ефективності ШІ, $\alpha \in [0, 1]$, з межами $\alpha = 0$: немає ШІ (базова система); $\alpha = 1$: максимальна ефективність ШІ.

Функція покращення SNR за допомогою ШІ через SNR:

$$SNR\_eff(\alpha) = SNR_0 \cdot G\_AI(\alpha) \quad (3)$$

де G_AI(α) - функція посилення від використання ШІ:

$$G\_AI(\alpha) = 1 + \beta \cdot \alpha^{\wedge}\gamma \quad (4)$$

де β - максимальне посилення від ШІ (β = 3-10 дБ у лінійному масштабі), γ - показник нелінійності покращення (γ = 0,5-2).

Інтегральний показник продуктивності системи J(α) можна описати як узагальнений показник максимізації продуктивності каналу зв'язку:

$$\max J(\alpha) = w_1 \cdot \Delta L(\alpha) + w_2 \cdot \Delta M(\alpha) + w_3 \cdot \Delta r_k(\alpha) \quad (5)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4 – коефіцієнти пріоритетної ваги для ΔL, ΔM, Δr_k – виграшів у дальності передачі, багатопозиційній маніпуляції та швидкості кодування від використання штучного інтелекту/моніторингу.

З використанням штучного інтелекту загальна продуктивність системи передачі інформації вища, ніж у випадку системи передачі без використання штучного інтелекту для відтворення переданої інформації.

Ключові переваги використання ШІ/МН для ОДС:

1. Покращує співвідношення сигнал/шум (SNR) завдяки адаптивному вирівнюванню каналів, інтелектуальному придушенню шуму, компенсації перешкод, оптимальному декодуванню.

2. Рменшує ймовірність помилки завдяки глибокому навчанню для розпізнавання образів, контекстного декодування, корекції помилок пакетів.

3. Дозволяє зменшити кількість базових станцій, зменшити капітальні витрати на інфраструктуру, розширити зону покриття.

4. Збільшує багатопозиційну маніпуляцію та призводить до покращення спектральної ефективності, тобто збільшення швидкості передачі даних, кращого використання пропускної здатності.

5. Збільшує швидкість завдостійкого кодування завдяки інтелектуальному декодуванню з м'яким прийняттям рішень, адаптивній корекції помилок, контекстному аналізу.

Висновки. Отже, ключовим елементом новизни є запропонована математична модель, яка пропонує кількісну оцінку впливу ШІ на ключові параметри системи зв'язку за фіксованої потужності передавача.

Результати мають також практичну цінність, оскільки вона має прямий економічний вплив, як і оптимізація інфраструктури, дозволяє значно зменшити кількість базових станцій, необхідних для покриття заданої території, що забезпечує значні економічні вигоди за рахунок зниження капітальних та експлуатаційних витрат на розгортання мереж наступного покоління (наприклад, 6G).

Оскільки підвищення продуктивності досягається при фіксованій потужності передавача, система стає пропорційно більш енергоефективною, що є критичним фактором сталого розвитку та експлуатаційних витрат.

Література

1. Xin, G., Fan, P., & Letaief, K. B. (2024). Semantic Communication: A Survey of Its Theoretical Development. Entropy, Intelligent Information Processing and Coding for B5G Communications, 26 (2), 102. doi: 10.3390/e26020102. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10888479.
2. B. C. Jung, "Toward Artificial Intelligence-Native 6G Services [Mobile Radio]," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 19, no. 4, pp. 9-14, Dec. 2024, doi: 1.1109/MVT.2024.3464788.

УДК 629.5:629.056.6:656.6

DOI: https://doi.org/10.32837/11300.33768

КВАНТОВІ ІНЕРЦІОНАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОРСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ: GNSS-INDEPENDENT РІШЕННЯ

Пунченко Н. О.
кандидат техничних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Міжнародний університет
м. Одеса, Україна

Анотаці. *У роботі запропоновано застосування квантових інерціальних навігаційних систем (QINS) для забезпечення автономної морської навігації в умовах радіоелектронного придушення та деградації GNSS-сигналів. Запропоновано архітектуру GNSS-independent навігації на основі квантових сенсорів, методів надлишкових вимірювань В. Кондратова та мультиагентної системи CEO-Agent. Показано можливість використання технології для безпілотних морських платформ та цифрової логістики України.*

Повномасштабна війна та системне руйнування портової інфраструктури Чорноморського регіону суттєво вплинули на морську логістику України. Порти Одеси, Чорноморська та Південного зазнали значних втрат, що спричинило скорочення експорту зернових культур приблизно на 40% упродовж 2022–2025 років [1]. Додатковим фактором ризику стало активне використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), які спричиняють деградацію або повне блокування глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS). У ряді випадків похибка позиціонування перевищувала 500 м, а

downtime навігаційних операцій досягав 25% [2].

У таких умовах особливого значення набувають автономні GNSS-independent навігаційні технології, здатні забезпечувати стійке функціонування морських транспортних систем навіть у середовищах із високим рівнем навігаційних перешкод. Одним із перспективних напрямів є використання квантових інерціальних навігаційних систем (QINS), побудованих на основі квантових акселерометрів та атомних інтерферометрів із чутливістю до $10^{-10}{}_{m/s^2}$ [3].

Основу запропонованої архітектури становить багаторівнева навігаційна система морських суден, що інтегрує: квантові інерціальні сенсори, надлишкові вимірювання за методом В. Кондратова, мультиагентну систему CEO-Agent, адаптивні алгоритми фільтрації та прогнозування траєкторій. Система реалізується як розподілене середовище реального часу

На відміну від класичних морських систем навігації, де джерелом координат є GNSS, запропонована система формує автономний замкнений контур управління, здатний функціонувати навіть в умовах активного радіоелектронного придушення.

Як зазначає український дослідник В. М. Кондратов, сучасні системи високонадійної навігації повинні базуватися на принципах функціональної надмірності та багатоканальної верифікації навігаційних параметрів [4].

Одним із ключових напрямів використання системи є інтеграція з безпілотними надводними платформами (USV — Unmanned Surface Vehicles). Автопілот отримує від QINS такі параметри: координати судна, курс, кутову швидкість, прогнозовану траєкторію, параметри дрейфу, оцінку зовнішніх збурень.

На основі цих даних формується адаптивне управління: стерновими механізмами, рушійними установками, системами стабілізації курсу. Система використовує predictive navigation control — прогнозне управління рухом судна. Алгоритми CEO-Agent аналізують не лише поточний стан, а й прогнозують поведінку судна на декілька хвилин уперед з урахуванням: хвильового навантаження, швидкості вітру, морських течій, щільності трафіку, маневрів інших суден.

Подібні підходи активно розвиваються у роботах західних дослідників T. Fossen та Y. Petillot, які розглядають автономне морське управління як багаторівневу кіберфізичну систему з елементами штучного інтелекту [5, 6].

В умовах Чорного моря особливого значення набувають системи autonomous collision avoidance. CEO-Agent об’єднує: радіолокаційні дані, квантову навігацію, оптичні сенсори, лідар, гідроакустичні канали. На відміну від COLREG-based navigation систем, архітектура використовує AI-assisted collision prediction — прогнозування конфліктів траєкторій до моменту критичного зближення.

Erik Levander у дослідженнях Rolls-Royce Marine зазначає, що автономні судна повинні працювати за принципом distributed maritime intelligence [7].

Для України це критично важливо у контексті: захисту grain corridor. USV-платформи використовують повністю автономний контур: QINS, AI-routing, adaptive collision avoidance, autonomous docking, decentralized fleet coordination.

Система CEO-Agent у режимі реального часу формує: оптимальний маршрут, ETA (Estimated Time of Arrival), оцінку ризиків, альтернативні логістичні сценарії.

Окремим напрямом є інтеграція автономної навігації з цифровою інфраструктурою зернового коридору. Після руйнування частини портової інфраструктури Одеси, Чорноморська та Південного виникла потреба у створенні distributed logistics architecture, де маршрути транспортування можуть оперативно змінюватися залежно від: рівня загроз, доступності портів, глибини фарватеру, погодних умов, військової ситуації. Навігаційна система взаємодіє з: портовими логістичними центрами, grain elevators, автоматизованими системами планування, цифровими платформами управління вантажопотоками.

CEO-Agent у режимі реального часу формує: оптимальний маршрут, прогноз ETA (Estimated Time of Arrival), оцінку ризиків маршруту, енергетичну ефективність проходження, альтернативні логістичні сценарії.

Особливо важливим є використання edge-computing та fog-computing архітектур, Подібні концепції Smart Maritime Logistics досліджуються Kevin Jones та Mikael Lind [8].

Однією з ключових переваг GNSS-independent архітектури є можливість функціонування навіть при: втраті берегових маяків, пошкодженні AIS-станцій, деградації портових серверів, відсутності супутникового сигналу, кібератаках на навігаційну інфраструктуру.

Фактично формується концепція cognitive maritime navigation — когнітивної морської навігації, де система самостійно: оцінює ризики, адаптується до загроз, реконфігурує маршрути, приймає рішення без участі оператора.

За оцінками NATO STO Centre for Maritime Research, такі системи стануть базовим стандартом морської логістики у зонах гібридних конфліктів після 2030 року.

Висновки. Таким чином, рівень автономного морського управління є не просто завершальним етапом навігаційної архітектури, а центральним елементом формування нової цифрової морської інфраструктури України, здатної забезпечити стійке функціонування Чорноморської логістики навіть в умовах тривалих військових загроз та навігаційної нестабільності.

Література

1. V. Strelbitskyi, N. Punchenko, N. Kazakova, Modeling and computer forecasting of a comprehensive reliability indicator for a fleet of identical gantry cranes.

Scientific and Practical Issues of Cybersecurity and Information Technology 2025. Lutsk, Ukraine. https://ceur-ws.org/Vol-4150/
2. Пунченко Н.О., Бенц В.А., Ситуаційна обізнаність крок до безпеки судноводіння. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація – 2024». Одеса. Стор 305 – 307.
3. M. A. Kasevich, S. Chu. “Atomic interferometry using stimulated Raman transitions,” Physical Review Letters, vol. 67, no. 2, pp. 181–184,1991. DOI: 10.1103/PhysRevLett.67.181
4. Кондратов В. М., Методи надлишкових вимірювань у навігаційних системах. Київ, Україна: Наукова думка, 2021, 286 с.
5. Thor I. Fossen, Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2021. DOI: 10.1002/9781119575050
6. Yvan Petillot, Autonomous Marine Navigation Systems. Cham, Switzerland: Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-49715-6
7. Erik Levander, Distributed Maritime Intelligence for Autonomous Shipping. Trondheim, Norway: Rolls-Royce Marine, 2019.
8. Kevin Jones, Smart Maritime Logistics Systems. Buzzards Bay, MA, USA: Massachusetts Maritime Academy, 2021.
9. Mikael Lind, Digital Transformation in Maritime Transport. Gothenburg, Sweden: Research Institutes of Sweden (RISE), 2022.

УДК 621.39:621.396.2

DOI

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАГОРИЗОНТНИХ СТАНЦІЙ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Цімура Ю. В.,
Доктор філософії
ВІТІ імені Героїв Крут, м. Київ
yurii.tsimura@viti.edu.ua
Колодійчук Л. В.,
ВІТІ імені Героїв Крут, м. Київ
leonid.kolodiichuk@viti.edu.ua

Анотація. *У роботі досліджено та запропоновано використання мобільних тропосферних комплексів COMET на базі програмно-конфігурованих радіомодемів Comtech CS67PLUS, в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби. Проаналізовано специфіку створення стійких завадозахищених каналів передачі даних на великі відстані за відсутності прямої оптичної видимості. Ключову увагу приділено оцінюванню ефективності технології розширення спектра прямою послідовністю (DSSS)*

Direct Sequence Spread Spectrum як базового інструменту забезпечення прихованості, та живучості військових інфокомунікаційних мереж.

Ведення сучасних бойових дій характеризується безперервним та деструктивним радіоелектронним і вогневим впливом на засоби зв'язку. За таких умов традиційні радіозасоби не завжди спроможні гарантувати безперебійне та стабільне управління підрозділами. Стандартне супутникове обладнання демонструє високу вразливість до цілеспрямованого впливу комплексами радіоелектронної боротьби (РЕБ) і потребує постійного фінансування для оренди частотного ресурсу. Це створює нагальну потребу у впровадженні автономних загоризонтних систем зв'язку BLOS (Beyond Line-of-Sight), які здатні функціонувати в умовах радіоелектронної протидії та зберігати стабільність функціонування. [1]

Одним із найбільш ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є застосування сучасних тропосферних комплексів COMET. Головна перевага зазначеного обладнання полягає в можливості організації високошвидкісних цифрових потоків поза межами прямої видимості (BLOS) на значних відстанях між абонентами. Це дозволяє маскувати та захищати пункти управління, розміщуючи їх у безпечних зонах чи складних елементах рельєфу.

Технологічною особливістю станцій COMET є реалізація комбінованих методів рознесення сигналів (Diversity) з метою нівелювання глибоких релеєвських завмирань під час поширення хвиль у шарах атмосфери: подвійне та одинарне поляризаційне рознесення (Polarization Diversity) передбачає роботу з ортогональними векторами поляризації; подвійне частотне рознесення (Frequency Diversity) забезпечує дублювання інформаційних потоків на двох різних частотах із інтервалом у 50 МГц та рознесенням прийому/передачі щонайменше на 100 МГц, що запобігає взаємному блокуванню трактів приймачів. Практична інтеграція перелічених типів рознесення дозволяє значно підвищити завадостійкість і загальний коефіцієнт готовності лінії зв'язку. Це критично важливо під час виконання завдань на пересіченій місцевості, у щільній міській забудові чи за наявності значних природних перешкод.

Оцінювання параметрів радіолінії потребує врахування ефектів дифракційного заломлення хвиль в атмосферних шарах, а також режимів роботи засобів зв'язку із застосуванням технології безпосереднього розширення спектра (DSSS). За умов потужного радіоелектронного впливу або ризику детектування сигналу засобами радіорозвідки, коли потужність на вході приймача знижується до порогових значень (RSL ≤ -90 дБм), доцільно використовувати режим DSSS із базовими коефіцієнтами розширення x2, x4 або x8 у межах робочих смуг 5, 10 чи 20 МГц. [2]

При цьому вихідний сигнал набуває вигляду шумоподібного (ШПС), а його спектральна щільність потужності знижується нижче за рівень природних теплових шумів. Для систем радіорозвідки та комплексів РЕБ такий канал зв'язку стає замаскованим під природний шумовий фон (реалізація концепції LPI/LPD), що гарантує замаскованість і дозволяє стабільно обмінюватися

даними на швидкостях до 10,227 Мбіт/с. Наведено порівняння основних характеристик режимів роботи станції з залученням режиму роботи DSSS під час проведення досліджень (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Варіанти функціонування в режимі розширення спектра (DSSS)

Режим роботи модема	Коефіцієнт розширення	Макс. пропускна здатність	Енергетичний поріг (RSL) / РЕБ
Стандартний (Single/Dual)	Без розширення	Від 105 до 210Мбіт/с	Оптимальний RSL = -55 дБм
DSSS Multiplier x2	Коефіцієнт x2	До 20 Мбіт/с	Граничний RSL≤−85 дБм
DSSS Multiplier x4	Коефіцієнт x4	До 10 Мбіт/с	Граничний RSL≤−87 дБм
DSSS Multiplier x8	Коефіцієнт x8	До 5 Мбіт/с	Граничний RSL≤−90 дБм

Впровадження DSSS у мобільних тропосферних комплексах дозволяє успішно боротися з явищем багатопроменевого поширення радіохвиль (multipath), яке притаманне загоризонтним засобам зв'язку. Завдяки цифровій кореляційній обробці на стороні прийому та алгоритмам прискореної синхронізації, розширений спектр згортається у вихідний сигнал, повністю нівелюючи інтерференційні загасання. Зазначений функціонал тісно взаємодіє з функціями адаптивної модуляції та кодування Adaptive Coding and Modulation (ACM), а також автоматичного контролю потужності Automatic Power Control (APC). Механізм APC динамічно коригує рівень випромінювання із частотою 1 Гц (із кроком ±0.25 дБ), підтримуючи стабільне значення прийому RSL = –55 дБм. Це мінімізує помітність станції та запобігає взаємній інтерференції в мережі. Додаткова конфіденційність інформаційних потоків на канальному рівні (Layer 2) досягається апаратним шифруванням модуля TRANSEC за стандартом AES-256 (відповідність FIPS 140-2 Level 2) [2].

Висновки. Впровадження програмно-конфігурованих радіоплатформ Comtech CS67PLUS та практична реалізація алгоритмів DSSS у мобільних комплексах COMET надає суттєві переваги під час організації зв'язку в сучасних умовах:

1. Високу адаптовану захищеність, потокове шифрування трафіка алгоритмом AES-256 та прихованість радіовипромінювання нижче рівня фонового шуму.
2. Стійкість до дії прицільних та загороджувальних завад завдяки скоординованій роботі адаптивних функцій ACM та APC.
3. Ефективна протидія міжсимвольній інтерференції та завмиранням у тропосферному каналі шляхом інтеграції частотно-поляризаційного рознесення та кореляційного аналізу ШПС.
4. Мобільність архітектури та безперешкодну інтеграцію модема з керованими високочастотними фільтрами й підсилювачами через штатні

цифрові інтерфейси.

Література

1. Слюсар В. І. Воєнна системотехніка: тенденції розвитку засобів зв'язку // Озброєння та військова техніка. № 2 (30). С. 45-52.

2. Comtech Telecommunications Corp. CS67PLUS Troposcatter Modem. Technical Specification and User Manual. Melville, NY, 2023. P. 114.

СЕКЦІЯ 6.
ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ В ОСВІТІ

УДК 378.22:004.9 – 047.22

DOI

ЦИФРОВА ДИДАКТИКА У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЗАКЛАДУ ВИЩОГО ОСВІТИ: ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ, КРОС-КУЛЬТУРНА МОТИВАЦІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Єрмакова С.С. доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри педагогіки та психології
Міжнародний університет
ermakovasvitlana2011@ukr.net

Анотація. *У статті досліджено трансформацію професійної діяльності викладача закладу вищої освіти в умовах стрімкого розвитку цифрової дидактики та інтеграції технологій штучного інтелекту. Проаналізовано специфіку проєктування сучасного освітнього процесу, що базується на поєднанні традиційних методик із генеративними та аналітичними інструментами ШІ. Особливу увагу приділено феномену крос-культурної мотивації студентів в умовах глобалізації вищої освіти, визначено ефективні цифрові стимули для залучення інтернаціональної авдиторії. Обґрунтовано стратегії дистанційної підготовки фахівців, орієнтовані на формування hard та soft skills, необхідних для конкурентоспроможності на сучасному ринку праці. Запропоновано практичні рекомендації для викладачів щодо адаптації дидактичних моделей до викликів цифрової епохи.*

Ключові слова: цифрова дидактика, заклад вищої освіти, штучний інтелект в освіті, проєктування освітнього процесу, крос-культурна мотивація, дистанційне навчання, підготовка фахівців.

У 2026 році вища освіта остаточно перейшла від адаптивної цифровізації до еволюційної трансформації на базі генеративного штучного інтелекту та мультимодальних технологій. Викладач ЗВО сьогодні — це не ретранслятор знань, а архітектор індивідуальних освітніх траєкторій. Саме тому головний виклик сучасного викладача полягає в необхідності одночасно вирішувати три завдання: технологічне (проектування процесу в цифрі), психолого-педагогічне (мотивація студентів у глобалізованому світі) та прагматичне (якісна підготовка фахівців конкретних галузей, наприклад, економічної, в дистанційному форматі).

Трансформація вищої освіти сьогодні досягла етапу, коли цифровізація перестала бути інструментом підтримки навчання і перетворилася на

фундаментальну основу його проєктування. Проєктування освітнього процесу в сучасному закладі вищої освіти вимагає від викладача кардинального переосмислення класичних дидактичних підходів. Сучасний педагогічний дизайн базується на створенні гнучких, адаптивних та людиноцентрованих цифрових екосистем, де штучний інтелект виступає головним фасилітатором та аналітичним інструментом.

Так, у контексті сучасних досліджень [1,2], ефективне проєктування освітнього процесу за умов тотальної цифровізації можливе лише за дотримання комплексу взаємопов'язаних педагогічних умов. Розглянемо їх детальніше з урахуванням деяких особливостей технологічного ландшафту сучасної освіти.

Першою та базовою педагогічною умовою є розгортання та постійне вдосконалення високотехнологічного екопростору університету. Сучасне середовище стає мультимодальним та інтегрованим. Воно поєднує в собі: хмарні архітектури для миттєвого доступу до навчальних ресурсів з будь-якої точки світу; інтеграційні шлюзи ШІ, що дозволяють впроваджувати інтелектуальних агентів безпосередньо у структуру дистанційних курсів; віртуальні простори спільної роботи, які забезпечують безшовний перехід між синхронною взаємодією (вебінари, онлайн-панелі) та асинхронним навчанням.

Проєктуючи таке середовище, викладач відмовляється від лінійної структури курсу «лекція – семінар – іспит». Натомість створюється модульна матриця мікронавчання, де студент може самостійно обирати темп та послідовність освоєння матеріалу.

Другою критичною умовою є готовність самого педагога виступати в ролі архітектора або дидактичного дизайнера освітнього процесу. Для цього, на нашу думку, викладач має володіти навичками операційного менеджменту в цифрі та розуміти логіку взаємодії людини з технологіями. Проте, проєктування в умовах цифровізації вимагає дотримання балансу між двома векторами навчання. А саме: синхронний трек (використовується виключно для високоемоційного, дискусійного та інтерактивного контенту (командні хакатони, дебати, розбір критичних кейсів); завдяки автоматизації рутини, викладач витрачає синхронний час не на читання лекцій, а на глибоку менторську роботу та асинхронний трек (наповнюється інтерактивними лекціями, симуляціями та автоматизованими тестами, тощо.

Третьою організаційно-педагогічною умовою є перехід від констатуючого контролю знань (оцінка в кінці семестру) до безперервного моніторингу цифрового сліду студента. Кожна дія здобувача освіти в цифровому середовищі — час перегляду відеоматеріалу, швидкість виконання тесту, активність на форумі, характер запитань до ШІ-тьютора — фіксується системою.

Отож, вбачається, що викладач у такий спосіб використовує інструменти предиктивної аналітики штучного інтелекту для: раннього виявлення ризиків, динамічного коригування контенту, персоналізованого фідбеку [2].

Таким чином, розширене проєктування освітнього процесу в епоху тотальної цифровізації виходить далеко за межі технічного забезпечення ЗВО. Педагогічні умови, обґрунтовані в межах розглянутої концепції демонструють, що сучасна цифрова дидактика — це синергія технологічної платформи, гнучкого дидактичного дизайну викладача та інтелектуального управління даними навчання.

В умовах глобалізації та переходу до дистанційного навчання університетські аудиторії остаточно втратили ознаки локальної чи монокультурної замкненості. Сучасний студентський контингент є гетерогенним, мультикультурним та мережевим. У такому середовищі класичні методи стимулювання навчальної діяльності часто виявляються неефективними через різницю в ментальних моделях, когнітивних стилях та культурних цінностях здобувачів. Як зазначається у дослідженнях [3,4], виникає гостра потреба у впровадженні крос-культурної методики, яка розглядає культурну різноманітність не як бар'єр, а як потужний дидактичний ресурс для підвищення внутрішньої мотивації студентів.

Сучасна цифрова дидактика та інструменти штучного інтелекту трансформують крос-культурний підхід, дозволяючи реалізувати його на рівні персоналізованого навчання. Відтак, виокремимо ключові педагогічні умови формування мотивації в епоху ШІ [4].

Першою педагогічною умовою є організація командної взаємодії студентів із різних соціокультурних середовищ у межах спільного цифрового простору.

Другою важливою умовою є індивідуалізація дидактичних матеріалів з урахуванням етнокультурних та індивідуально-психологічних особливостей сприйняття інформації.

Третьою педагогічною умовою є децентралізація навчального контенту та використання крос-культурної гейміфікації. Процес навчання не повинен будуватися на європоцентричній чи виключно локальній моделі знань.

Таким чином, формування мотивації за крос-культурною методикою переходить на рівень високотехнологічної персоналізації. Цей мотиваційний фундамент є критично необхідним для переходу до третього етапу — безпосередньої та інтенсивної професійної підготовки фахівців у складних дистанційних умовах сьогодення.

Галузевий зріз вищої освіти у 2026 році наочно демонструє, як цифрова дидактика та крос-культурна мотивація реалізуються на практиці при підготовці фахівців конкретного профілю. Економічна сфера зазнала чи не найбільших змін під впливом четвертої промислової революції. Сучасна економіка є повністю цифровою: вона функціонує на базі алгоритмів предиктивної аналітики, великих даних, децентралізованих фінансів та автоматизованих систем управління компаніями. Відповідно, як обґрунтовано в дослідженнях [5], професійна підготовка майбутніх економістів у ЗВО має відбуватися у випереджальному режимі із застосуванням новітніх дистанційних

та інтелектуальних технологій.

Ефективна дистанційна підготовка конкурентоспроможних економістів вимагає специфічних організаційно-педагогічних умов, які трансформують традиційне навчання на динамічну модель професійної соціалізації. Так, першою організаційно-педагогічною умовою є створення автентичного цифрового середовища, яке повністю дублює реальне робоче місце сучасного економіста. Другою важливою умовою є перехід від статичного розбору минулих економічних кейсів до динамічного моделювання ринкових ситуацій у реальному часі. Дистанційний формат дозволяє розгорнути масштабні гейміфіковані платформи для колективного навчання. Це, відповідно, розвиває критичне мислення, стратегічне бачення та стресостійкість. Дистанційні технології перетворюють навчання на безпечний полігон для відпрацювання професійних помилок, де ціна помилки — це лише віртуальні бали, а не реальні капітали компанії.

Третьою організаційно-педагогічною умовою [5] є ліквідація розриву між академічною теорією та реальними вимогами бізнесу через побудову мережевої екосистеми ЗВО. Дистанційні технології знімають географічні обмеження для залучення практиків до освітнього процесу.

Висновки. Таким чином, організаційно-педагогічні умови професійної підготовки економістів [5], сформульовані на основі наукових поглядів, доводять, що сучасне дистанційне навчання вийшло на рівень повної імітації та інтеграції в реальні бізнес-процеси. Завдяки поєднанню гнучкої цифрової інфраструктури [3] та високої внутрішньої мотивації студентів [1], використання дистанційних технологій та ШІ дозволяє підготувати не просто теоретиків, а практико-орієнтованих фахівців економічної галузі, здатних ефективно працювати у глобальному цифровому середовищі з першого дня після випуску.

Література

1. Биков А.В. Моделювання освітнього середовища ЗВО в умовах цифровізації. Наукові інновації та передові технології №3(55),2026.С.806 - 814с. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-3(55)-806-820 https://perspectives.pp.ua/index.php/nauka/article/view/38844
2. Биков А.В. Педагогічні умови створення цифрового освітнього середовища у закладах вищої освіти № 1(68) (2026): Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Педагогічні науки DOI: https://doi.org/10.32689/maup.ped.2026.1.1 https://journals.maup.com.ua/index.php/pedagogy/article/view/5499
3. Шаповалов О.Ю. (2026). Дослідження крос-культурного компонента мотиваційно-ціннісної сфери здобувачів освіти. Перспективи та інновації науки. № 5(63). С. 1922-1923. https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5(63)-1922-1933

https://perspectives.pp.ua/index.php/pis/article/view/44589
4. Шаповалов О.Ю. (2026). Обґрунтування педагогічних умов формування мотивації за крос-культурною методикою. Наука і техніка сьогодні. №5 (59). С. 3366-3380. https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-5(59)-3366-3380 https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/45808/45834
5. Кічка М. П(2026) Цифрове середовище як чинник оновлення підходів до підготовки економістів. Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Педагогічні науки. 2026. № 1 (68). С. XX–XX. https://doi.org/10.32689/maup.ped.2026.1.12 https://journals.maup.com.ua/index.php/pedagogy/article/view/5516

УДК 378.22:004.9 – 047.22

DOI

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОСВІТИ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Биков А. В. здобувач наукового ступеня доктора філософії
Міжнародний університет
allanbykov@gmail.com

Анотація. *У статті досліджено особливості оновлення освітньої системи під впливом стрімкого розвитку цифрової педагогіки. Автор аналізує ключові технологічні інновації та їхню роль у трансформації класичних дидактичних принципів. Особливу увагу приділено стратегічним напрямам розвитку навчання, серед яких: індивідуальні освітні траєкторії, гейміфікація, інтерактивні й хмарні платформи, аналітика даних та концепція відкритих знань. Разом із тим, у роботі критично оцінено системні виклики та бар'єри, які доводиться долати закладам освіти на шляху до цифрової модернізації.*

Розвиток сучасного інформаційного суспільства актуалізує формування цифрової грамотності, яка постає базовим каталізатором безперервного навчання особистості впродовж життя. У цьому контексті ключовий пріоритет модернізації освіти полягає у вихованні нових професійних навичок, адаптованих до вимог цифровізації, що дає змогу активно впроваджувати новітні навчальні формати.

Цифрова педагогіка є динамічною галуззю, яка забезпечує системну інтеграцію технологій в освітній процес для оптимізації викладання та засвоєння знань. Цей напрям виходить далеко за межі механічного використання комп'ютерної техніки. Його сутність полягає у глибинній трансформації дидактичних підходів, забезпеченні персоналізованої траєкторії навчання та розвитку навичок майбутнього.

Головним завданням глобальних освітніх реформ є фундаментальний

перехід від традиційної моделі, керованої виключно педагогом, до саморегульованого опанування компетентностей. Саме такий підхід є критично важливим для успішної життєдіяльності людини в сучасному соціумі. Відповідно, сучасна цифрова педагогіка базується на низці інноваційних підходів та інструментів. Конкретизуємо кожен з них.

1. Персоналізація освітньої траєкторії. Так. інтеграція адаптивних навчальних платформ та інструментів штучного інтелекту (ШІ) забезпечує гнучке налаштування контенту й темпу засвоєння матеріалу під індивідуальні запити кожного здобувача. Спеціалізовані системи моніторингу аналізують поточні досягнення студента, автоматично генеруючи релевантні завдання, допоміжні ресурси та деталізований зворотний зв’язок.

2. Гейміфікація та імерсивні інтерактивні середовища. Вважаємо, що упровадження ігрових механік (системи балів, рейтингів, навчальних квестів) суттєво інтенсифікує залученість та внутрішню мотивацію учнів. Застосування інтерактивних симуляцій, технологій віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності дозволяє створювати безпечні цифрового простору для експериментів і дослідження складних наукових концепцій.

3. Хмарно-орієнтовані технології та колаборативне-навчання. Використання сучасних хмарних екосистем (зокрема Google Workspace, Microsoft 365) гарантує безперешкодний контент-доступ незалежно від локації чи типу пристрою. Крім того, ці платформи виступають базисом для командної проєктної роботи, стимулюючи взаємодію у реальному часі та розвиток навичок колаборації.

4. Навчальна аналітика. Системний збір та інтелектуальний аналіз цифрових слідів навчальної діяльності дозволяє моніторити динаміку успішності, оперативно ідентифікувати освітні дефіцити й корегувати викладацькі стратегії. Це забезпечує не лише ретроспективну оцінку ефективності, а й предиктивну аналітику для своєчасного надання індивідуальної підтримки.

5. Відкриті освітні ресурси. Популяризація та доступність безкоштовних матеріалів із відкритими ліцензіями (масові онлайн-курси, цифрові підручники, медіалекції) делімітує бар'єри у знаннях. Цей інструмент максимізує можливості для самоосвіти та інклюзивного доступу до якісного контенту для різноманітних верств суспільства.

Генерація персоналізованих навчальних рекомендацій виступає дієвим інструментом для повної реалізації інтелектуального та творчого потенціалу здобувачів освіти. Завдяки цьому майбутні фахівці здобувають спроможність до ефективної взаємодії в межах різноманітних соціокультурних груп і спільнот, набуваючи навичок компетентної комунікації як у реальному, так і у віртуальному просторі, що є невіддільним складником концепції безперервної самоосвіти.

Сучасна рамка компетентностей XXI століття гармонійно поєднує когнітивні та інноваційні вміння, відомі як ядро концепції «4С»: критичне

мислення, комунікативна спроможність, колаборація та креативність. Цей базис доповнюється інформаційно-медійною грамотністю, а також гнучкими життєвими й кар'єрними навичками. У цьому контексті прогрес цифрової педагогіки відкриває масштабні стратегічні перспективи для модернізації освітнього простору, зокрема:

- цифрові інструменти нівелюють географічні, просторові та соціальні обмеження, що забезпечує рівні можливості для здобуття освіти мешканцям віддалених регіонів та особам з особливими освітніми потребами;
- подальша еволюція алгоритмів штучного інтелекту й адаптивних платформ дозволить здійснювати прецизійне налаштування контенту під автентичні запити кожного учня, що гарантує максимальну продуктивність та системне засвоєння матеріалу;
- використання цифрового інструментарію за своєю природою стимулює розвиток критичного аналізу, творчого підходу та командної взаємодії, оскільки вирішення сучасних технологічних завдань вимагає комплексного застосування «4С»-компетенцій;
- в умовах динамічної трансформації ринку праці цифрова педагогіка стає фундаментом для безперервного навчання та оперативної перекваліфікації фахівців, надаючи інструменти для перманентного оновлення професійного профілю;
- мережеві цифрові платформи інтенсифікують транскордонну співпрацю між закладами вищої освіти, дослідниками та студентами, що створює сприятливі умови для міжкультурного обміну досвідом та реалізації спільних міжнародних проєктів.

Ефективне формування зазначених умінь у здобувачів освіти вимагає від майбутніх магістрів освіти високого рівня медіакомпетентності, зокрема опанування технологій проєктування цифрових наративів як одного з найбільш продуктивних дидактичних інструментів. Необхідною передумовою цього процесу є формування свідомого особистісного ставлення педагога до медіаконтенту та його готовність до рівноправної колаборації з учнями. Варто зважити на те, що сучасні учні часто володіють значно ширшим практичним досвідом використання інформаційно-комунікаційних технологій, ніж викладачі. З огляду на це, критично важливого значення набуває здатність учителів здійснювати спільне з вихованцями дослідження сучасного інформаційного простору.

У межах нашого дослідження, проведеного на базі Міжнародного університету, було доведено, що специфіка професійної підготовки майбутніх магістрів освіти до розвитку медіакомпетентності полягає у синергії критичного сприйняття комунікаційного матеріалу та набуття досвіду творчої діяльності. Йдеться про цілеспрямоване формування вмінь конструювати образний світ за допомогою сучасних комунікаційних джерел. Запропонований підхід базується на концептуальному положенні про те, що безпосереднє залучення здобувачів до самостійного виготовлення оригінальної

інформаційної продукції є обов’язковим етапом розвитку їхньої медійної та інформаційно-комунікаційної компетентностей.

Відтак, процес розвитку медіакомпетентності майбутніх магістрів освіти має системний характер і охоплює формування таких базових компонентів:

- теоретико-методологічний: компетентність у сфері теорії та специфіки використання медіа в освітньому процесі;
- лінгво-комунікативний: компетентність у контексті функціонування мови та механізмів медіакомунікацій;
- аналітико-селективний: компетентність щодо критичного вибору, фільтрації та всебічного аналізу медіаповідомлень;
- креативно-продуктивний: компетентність у сфері безпосереднього створення та дистрибуції авторських медіаповідомлень.

Однак, попри вагомі стратегічні перспективи та високий інтерес до практичного впровадження інструментів цифрової педагогіки, ця галузь знань і практичної діяльності стикається із низкою суттєвих деструктивних чинників та бар'єрів. Серед ключових викликів сьогодення доцільно виокремити такі:

1. Цифровий розрив (дигітальна нерівність). Гостра потреба в забезпеченні гарантованого й рівного доступу до сучасних технологічних рішень, апаратного забезпечення та високошвидкісного інтернету для всіх категорій здобувачів освіти, незалежно від їхнього соціально-економічного статусу.
2. Професійна готовність педагогічних кадрів. Перманентна потреба в модернізації системи підвищення кваліфікації вчителів, актуалізації їхніх цифрових дефіцитів та цілеспрямованому розвитку інноваційних медіакомпетентностей.
3. Кібербезпека та захист персональних даних. Комплексна проблема забезпечення конфіденційності, захисту інформації та створення безпечного цифрового архітектурного простору в межах електронного освітнього середовища закладів.
4. Валідація та якість контенту. Необхідність проектування та дидактичного обґрунтування високоякісного, релевантного, інтерактивного й адаптованого до психолого-педагогічних вимог цифрового навчального контенту.

На наше переконання, успішна еволюція та масштабування цифрової педагогіки потребують реалізації комплексних, системних підходів. Вони мають консолідувати цільові інвестиції в модернізацію інфраструктури, розробку гнучких програм інноваційного розвитку викладачів, генерацію ліцензованих цифрових ресурсів, а також формування адаптивної нормативно-правової бази, що регулюватиме дигіталізацію галузі.

Висновки. Таким чином, цифрова педагогіка постає не короткотривалим технологічним трендом, а об'єктивною соціокультурною необхідністю, що безпосередньо конструює архітектоніку майбутньої освіти. Її системна інтеграція та подальший науково обґрунтований розвиток дозволять

сформувати гнучку, інклюзивну й архіпродуктивну освітню екосистему, спроможну ефективно відповідати на глобальні виклики та запити суспільства XXI століття.

УДК 378.22:004.9 – 047.22

DOI

SMART-ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ЕКОНОМІСТІВ: ІННОВАЦІЙНІ ВИМІРИ ТА ДИДАКИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Кічка М. П. здобувач наукового ступеня доктора філософії
Міжнародний університет
mykola.p.kichka@gmail.com

Анотація. *У статті здійснено комплексний аналіз інноваційних SMART-технологій та визначено вектор їхнього впливу на архітектоніку сучасного соціуму й систему підготовки фахівців економічного профілю. Досліджено ключові напрями імплементації розумних рішень у провідні сектори економіки (промисловість, агропромисловий комплекс, логістичні системи, сферу послуг) через призму теорії та методики професійної освіти. Особливий акцент зроблено на дидактичній продуктивності, яку забезпечує інтеграція SMART-інструментів. Розкрито роль новітніх технологій у підвищенні конкурентоспроможності освітніх послуг, оптимізації управлінських та навчальних процесів, а також у моделюванні інноваційних освітніх «бізнес-платформ» в умовах глобальної цифрової трансформації.*

Динамічний розвиток глобального інформаційного простору зумовлює масштабну експансію інноваційних SMART-технологій, які стають фундаментальним складником життєдіяльності сучасного суспільства. Зазначена технологічна парадигма охоплює широкий спектр системних рішень, що забезпечують дистанційне керування девайсами й процесами, а також безперешкодну дистрибуцію даних без безпосереднього фізичного контакту. Системне впровадження цих інструментів радикально модернізує різноманітні сфери — від побутового сектору до високотехнологічної промисловості, охорони здоров'я та педагогічної науки.

Базисом сучасних SMART-технологій виступає синергетичне поєднання Інтернету речей (IoT), алгоритмів штучного інтелекту (AI) та високошвидкісних телекомунікаційних мереж нового покоління. Серед домінантних векторів практичного застосування SMART-рішень виокремлюються: концепція «розумного дому», системи дистанційної праці та інтерактивного навчання, телемедицина, індустрія 4.0, автоматизоване сільське господарство, а також

інтелектуальні транспортно-логістичні вузли.

Ураховуючи зазначені тенденції, сучасний ринок праці висуває жорсткі вимоги до кваліфікаційного профілю фахівців економічної галузі. Окрім фундаментальних теоретичних знань, критично важливими стають адаптивність до швидких технологічних змін та здатність оперувати новітніми цифровими інструментами. У цьому контексті SMART-технології постають детермінуючим елементом у структурі підготовки конкурентоспроможних та висококваліфікованих кадрів для сучасної цифрової економіки.

На теоретичному етапі нашого дослідження було систематизовано та науково обґрунтовано ключові преференції імплементації SMART-технологій в освітній процес майбутніх економістів. Проведений дескриптивний аналіз дозволив виокремити такі детермінантні переваги:

• Просторово-часова гнучкість та інклюзивна доступність. Дистанційні освітні формати нівелюють географічні обмеження, забезпечуючи безперешкодне здобуття кваліфікації незалежно від локації та специфіки індивідуального графіка студентів. Це набуває особливої ваги для здобувачів, які поєднують навчання із практичною діяльністю на ринку праці. Застосування SMART-інструментів, зокрема кросплатформних мобільних застосунків та хмарних екосистем, максимізує операційну доступність контенту з будь-якого цифрового пристрою.

• Прецизійна персоналізація освітньої траєкторії. Завдяки широким аналітичним потужностям сучасних SMART-платформ викладачі отримують можливість здійснювати перманентний моніторинг навчальної динаміки кожного студента, вчасно ідентифікувати когнітивні дефіцити й адаптувати дидактичні матеріали під автентичні потреби особистості. Таке моделювання індивідуальних освітніх векторів суттєво підвищує коефіцієнт корисної дії засвоєння фундаментальних знань.

• Дидактична інтерактивність та інтенсифікація залученості. Інтеграція ігрових механік, інтерактивних симуляцій, а також технологій віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності трансформує традиційну модель сприйняття інформації в імерсивний процес. Зокрема, використання спеціалізованих економічних симуляторів та бізнес-тренажерів дозволяє студентам практично відпрацьовувати навички операційного управління підприємством, здійснювати комплексний інвестиційний аналіз та ухвалювати виважені стратегічні рішення в умовах, які максимально релевантні реальному ринковому середовищу.

Економічна сфера піддається постійним трансформаціям, через що класичні паперові підручники швидко втрачають свою актуальність. Розумні хмарні платформи забезпечують миттєву дистрибуцію та оперативне оновлення навчального матеріалу, інтеграцію найсвіжіших галузевих досліджень, реальних бізнес-кейсів та свіжих статистично-аналітичних даних, гарантуючи здобувачам

доступ до передових науково-практичних досягнень. Емпіричний етап нашого дослідження дозволив диференціювати та верифікувати базовий інструментарій SMART-технологій, релевантний для системи професійної підготовки фахівців економічного профілю. На наше переконання, архітектоніку сучасного освітнього процесу в цій галузі детермінують такі інструменти:

1. Спеціалізовані цифрові середовища (зокрема Moodle, Coursera for Business, edX) виступають базисом для централізованого менеджменту освітнього контенту. Вони забезпечують систематизований доступ до теоретичних модулів, контрольно-діагностичних матеріалів, тестових комплексів та інтегрованих комунікаційних каналів.

2. Використання сервісів відеоконференцзв'язку та вебінарних кімнат (на кшталт Zoom, Google Meet) уможливлює проведення інтерактивних лекцій, науково-практичних семінарів, панельних дискусій та персональних консалтингових сесій у режимі реального часу (real-time).

3. Спеціалізоване програмне забезпечення, що здійснює прецизійне математичне моделювання макро- та мікроекономічних процесів (зокрема симулятори фондових бірж, інвестиційні платформи та комплексні бізнес-симулятори). Цей інструментарій дозволяє здобувачам трансформувати теоретичні знання у практичні управлінські лідерські навички в безпечному та контрольованому цифровому середовищі без ризику фінансових втрат.

4. Імплементація інтелектуальних систем для предиктивного моделювання персональних освітніх траєкторій, автоматизованого оцінювання результатів навчання, генерації миттєвого фідбеку та релевантних рекомендацій. Застосування генеративних чат-ботів дозволяє оптимізувати інформаційну підтримку здобувачів через автоматизацію відповідей на стандартні запити.

5. Збір, інтелектуальна обробка та глибокий аналіз цифрових слідів навчальної діяльності студентів для моніторингу якості освіти, виявлення системних деструкцій в освітньому процесі та прогнозування кар'єрного вектора випускників.

6. Перспективний напрям верифікації освітніх досягнень, що передбачає фіксацію сертифікатів, дипломів та мікрокваліфікацій у блокчейн-мережі. Це радикально підвищує рівень транспарентності, довіри з боку потенційних роботодавців та гарантує абсолютний захист документів від фальсифікації.

В умовах переходу до економіки знань цінність людського потенціалу детермінується спроможністю ефективного використання унікальних архітектурних та функціональних можливостей SMART-технологій як у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців, так і безпосередньо в їхній подальшій практичній діяльності. За такої парадигми працівник із його унікальним досвідом, когнітивними навичками, мотиваційною структурою, ціннісними орієнтирами та стимулами трансформується у ключовий

стратегічний ресурс будь-якої організації.

У межах сучасних вітчизняних реалій найбільш релевантною та адаптивною платформою для апробації й практичної імплементації концепції SMART-освіти виступає всесвітньо відома система організації та управління навчальним процесом MOODLE. Домінантними преференціями цього інструментарію є відкрита безкоштовна ліцензія, перманентна динамічна модернізація зусиллями глобальної спільноти науковців, освітян і програмістів, а також оперативна інтеграція передових інновацій у сфері дидактики. Як наслідок, спостерігається векторизоване формування глобального інформаційно-освітнього середовища, що гарантує інтерсуб'єктивну взаємодію між усіма суб'єктами навчання, безперешкодний доступ до світових інтелектуальних ресурсів та максимальну верифікацію стійких професійних компетентностей у фаховій економічній сфері.

Проте, попри виражені переваги, системне впровадження SMART-технологій у площину підготовки економічних кадрів стикається з низкою об'єктивних викликів. До них належать:

- потреба у масштабних капіталовкладеннях для модернізації та підтримання високотехнологічної інфраструктури;
- необхідність цілеспрямованої реконфігурації цифрового профілю викладацького складу для роботи з новітніми смарт-інструментами;
- гарантування кібербезпеки та захисту інституційних даних;
- нівелювання дигітальної нерівності (цифрового розриву).

Попри це, стратегічні перспективи зазначеного процесу є надзвичайно масштабами. Подальша інтеграція смарт-орієнтованих дистанційних технологій у вищу освіту дозволить сформувати генерацію економістів нового типу. Вони оперуватимуть не лише фундаментальним теоретичним базисом, а й високим рівнем практичних навичок роботи з інноваційними ІТ-рішеннями, що виступає імперативом їхнього персонального успіху та сталого розвитку макроекономічних систем у цілому.

Висновки. Таким чином, якісний рівень розвитку трудових ресурсів безпосередньо зумовлює інтенсифікацію економічного зростання під час переходу до «нової» економіки, заснованої на знаннях (неоекономіки), та визначає рівень диференціації між глобальними технологічними лідерами й країнами, що розвиваються. Ключовим джерелом і вирішальним драйвером такої динаміки є використання SMART-технологій як пріоритетного вектора модернізації освітнього процесу в умовах глобалізаційної інтеграції України. Фундаментальне значення у цьому процесі належить саме освітньому потенціалу — професійній компетентності, освіченості та креативному капіталу фахівців. Саме знання та інноваційна професійна підготовка

трансформуються у головне джерело стійких конкурентних переваг у XXI столітті.

УДК 378.22:004.9

DOI

ДИГІТАЛІЗАЦІЯ ОСВІТИ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ КРОС-КУЛЬТУРНОГО ПІДХОДУ: ВІД МОТИВАЦІЇ ДО КОМПЕТЕНТНОСТІ

Шаповалов О.Ю. здобувач наукового ступеня доктора філософії
Міжнародний університет
shapovalov_76@ukr.net

Анотація. *У статті здійснено комплексне дослідження проблеми формування мотивації до розвитку цифрових навичок у здобувачів освіти крізь призму крос-культурного підходу. Автором проаналізовано наявні теоретико-методологічні підходи та запропоновано інноваційні рішення, що враховують соціокультурні особливості й ментальні детермінанти у сприйнятті інформаційно-комунікаційних технологій різними етнічними та соціальними групами. Виокремлено й науково обґрунтовано ключові чинники розвитку цифрової компетентності студентів за умов імплементації крос-культурних методик, які безпосередньо стимулюють внутрішню мотивацію та інтенсифікують процес інтерналізації дигітальних знань. Емпіричні та теоретичні результати дослідження мають прикладне значення і можуть бути інтегровані в теорію та методику професійної освіти для оптимізації та адаптації навчальних програм із розвитку цифрових навичок.*

У сучасному глобалізованому просторі дигітальні технології виступають стрижневим фактором трансформації соціокультурних та освітніх інституцій. Водночас продуктивна імплементація цих інструментів детермінується не лише рівнем інфраструктурного забезпечення, а й ступенем сформованості стійкої внутрішньої мотивації здобувачів освіти до перманентного розвитку цифрових навичок. Особливої актуальності цей аспект набуває в умовах інтеграції крос-культурних дидактичних моделей, орієнтованих на інтерсуб'єктивну взаємодію та когнітивний обмін між представниками полярних культурних ареалів.

Попри визнання цифрових компетентностей базовим імперативом успішної професіоналізації в будь-якій галузі, ключовою деструкцією сучасного освітнього менеджменту залишається дефіцит мотиваційного складника студентів щодо опанування новітніх ІТ-рішень. Застосування крос-культурної методології спроможне нівелювати цей бар'єр, оскільки її архітектоніка базується на верифікації та врахуванні етнокультурних специфік,

ціннісних орієнтацій та ментальних паттернів, які безпосередньо модулюють пізнавальні процеси.

Мотивація до навчання не є універсальним конструктом; її генезис зумовлений комплексом етносоціальних чинників. Зокрема, у суспільствах з індивідуалістичним типом культури, де домінують ідеї персонального успіху та конкурентоспроможності, драйвером розвитку цифрової грамотності постає прагнення до підвищення індивідуального статусу, кар'єрного преференціалу та домінування в академічному середовищі. Натомість у колективістських культурах пріоритет зміщується у площину синергії, командних досягнень та когнітивної солідарності. У такому контексті мотивація здобувачів актуалізується через можливість використання цифрового інструментарію для оптимізації групової взаємодії та сприяння інтегральному благополуччю спільноти.

Суттєвий вплив на зазначені процеси чинять також аксіологічні орієнтири суспільства. У традиціоналістських культурах, сфокусованих на збереженні соціокультурної стабільності, технологічні новації часто маркуються з певною обережністю, що вимагає розробки специфічних, делікатних педагогічних стратегій стимулювання. Навпаки, у модернізованих культурах, вектор розвитку яких спрямований на інновації та перманентні зміни, інтерес до дигітальних засобів формується природним шляхом як елемент повсякденної прагматики.

Крос-культурна освітня методика за своєю суттю є інноваційною парадигмою, оскільки її реалізація вимагає від суб'єктів навчання розвиненої комунікативної фаховості, критичного аналізу та здатності до продуктивної колаборації. Цифрові платформи акумулюють унікальний інструментарій для вирішення цих завдань: віртуальні інтерактивні середовища, хмарні системи спільного проектування, сервіси синхронного відеозв'язку та мультимедійні репозиторії уможливлюють транскордонну комунікацію студентів із різних країн. Зазначена синергія забезпечує не лише ефективну інтерналізацію академічного контенту, а й паралельний розвиток міжкультурної компетентності, етнічної толерантності та глобального взаєморозуміння.

Крос-культурна методологія передбачає цілеспрямовану адаптацію освітніх програм, контенту та дидактичних методів відповідно до етносоціальних та ментальних характеристик суб'єктів навчання. Зазначений підхід виходить далеко за межі механічного лінгвістичного перекладу навчальних матеріалів; він вимагає глибокої дескрипції та розуміння того, як культурні норми, аксіологічні матриці та специфічні комунікаційні стилі модернізують сприйняття наукової інформації та детермінують рівень емоційно-когнітивної залученості студентів.

У межах нашого емпіричного дослідження було доведено, що процес формування цифрової компетентності здобувачів освіти за умов імплементації крос-культурних методик є багатоаспектною педагогічною системою, архітектоніку якої визначає комплекс таких базових чинників:

- Доступність та інфраструктурна якість цифрових ресурсів. (Так, фундаментальний чинник, який передбачає забезпечення стабільного високотехнологічного доступу до електронних платформ та інструментів для всіх учасників освітньої взаємодії, незалежно від їхнього локаційного чи етносоціального статусу.)
- Релевантність, аутентичність та інтенсивність контенту. (На нашу думку, дидактичні матеріали мають володіти високим ступенем актуальності й корелювати з віковими, когнітивними та соціокультурними паттернами здобувачів. Інтеграція ігрових механік, інтерактивних модулів та мультимедійних репозиторіїв суттєво мінімізує пасивне сприйняття знань.)
- Полікультурна й дигітальна компетентність педагогічних кадрів. (Професійний профіль сучасного викладача має поєднувати розвинені ІТ-навички зі спроможністю проектувати крос-культурний освітній простір, нівелювати комунікаційні бар'єри та здійснювати ефективну дидактичну фасилітацію міжкультурного діалогу.)
- Простір для автентичного самовираження та колаборації. (Розумні цифрові інструменти повинні функціонувати як платформи для трансляції авторських ідей студентів, реалізації спільних міжнародних проектів, інтерсуб'єктивного обміну думками та отримання прецизійного фідбеку, що формує у здобувачів почуття суб'єктності й стимулює внутрішню мотивацію.)
- Інституційне визнання та система заохочень. (Важливий стимулюючий вектор, спрямований на публічну фіксацію, маркування та заохочення досягнень студентів у галузі використання цифрових технологій та їхньої ініціативності в межах крос-культурної взаємодії.)
- Нівелювання психолого-педагогічних бар'єрів та деструкцій. (Певна частина здобувачів освіти може виявляти ознаки технофобії, тривожності або невпевненості щодо власного рівня дигітальної грамотності. Це зумовлює необхідність проектування толерантного, підтримуючого освітнього середовища та надання адресного індивідуального консалтингу.)

Ураховуючи вищезазначені детермінанти, вважаємо, що для ефективного стимулювання внутрішньої мотивації здобувачів освіти в межах крос-культурної парадигми доцільно впроваджувати такі стратегічні вектори та педагогічні інструменти:

1. Моделювання імерсивного інтерактивного навчального простору. Практична імплементація технологій тривимірного (3D) моделювання, інтерактивних комп'ютерних симуляцій, віртуальних екскурсій, а також інструментів віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності для створення високотехнологічного дидактичного середовища.
2. Активація транскордонної проєктно-дослідницької діяльності. Залучення студентів до виконання спільних міжнародних проєктів, архітектоніка яких вимагає обов'язкового застосування сучасного цифрового інструментарію для верифікації інформації, мережевої комунікації та мультимедійної презентації результатів.

3. Системна гейміфікація освітнього процесу. Дидактична інтеграція ігрових сценаріїв, механік та елементів змагальності з метою інтенсифікації стійкого пізнавального інтересу, залученості та емоційного відгуку здобувачів.

4. Стимулювання автономного навчання та евристичної діяльності. Надання студентам максимальної академічної суб'єктності у сфері самостійного пошуку, критичного аналізу та верифікації інформаційних масивів, а також у процесі генерації авторського цифрового контенту.

5. Організація синхронної віртуальної взаємодії з автентичними носіями соціокультурних кодів. Проведення інтерактивних вебінарів, круглих столів та телемостів із носіями мови та представниками інших культур, що забезпечує пряму інтерсуб'єктивну комунікацію, актуалізує потребу в мовній практиці та оптимізує міжкультурний діалог.

6. Перманентний професійний розвиток викладацького складу. Організація системного підвищення кваліфікації педагогів у синергетичному вимірі — як у царині сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, так і в галузі крос-культурної та полікультурної педагогіки.

Резюмуючи, імплементація крос-культурної методології у площину стимулювання мотиваційного вектора розвитку цифрових навичок актуалізує низку системних викликів. До них належать потреба в перманентній реконфігурації кваліфікаційного профілю професорсько-викладацького складу, проектування автентичних дидактичних матеріалів та деконструкція можливих етносоціальних стереотипів і упереджень. Проте довгострокові детермінантні преференції повністю нівелюють зазначені деструкції. Аплікація крос-культурного підходу забезпечує не лише високу результативність інтерналізації дигітальних умінь, а й виступає каталізатором формування глобальної компетентності — здатності до продуктивної життєдіяльності та інтерсуб'єктивної взаємодії в полікультурному просторі, що є ключовим імперативом сучасного світу.

Висновки. Таким чином, капіталізація розробки та практичного впровадження крос-культурних методик постає не просто альтернативним варіантом, а об'єктивною необхідністю для створення гнучкої, інклюзивної та архіпродуктивної системи освіти, адаптованої до викликів цифрової епохи. Основними компонентами та рушійними силами цього процесу є гарантування безперешкодного доступу до ліцензованих електронних ресурсів, генерація інтерактивного контенту, висока полікультурна фаховість педагогів та інтенсифікація командної колаборації студентів. Системні інвестиції в цифрову освіту та розвиток внутрішньої дигітальної мотивації дозволяють не лише підготувати здобувачів до викликів динамічного ринку праці, а й сприяють вихованню глобального громадянства та міжкультурної толерантності.

СЕКЦІЯ 7.
ПСИХОЛОГІЯ ЦИФРОВОГО ПРОСТОРУ. КІБЕРПСИХОЛОГІЯ

УДК 159.9:343.37:004

DOI

ЦИФРОВІ СЛІДИ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ: ПСИХОЛОГІЧНІ ПРЕДИКТОРИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ДЕТЕКЦІЯ КОРПОРАТИВНОГО ШАХРАЙСТВА

Гайдуков Ігор Валентинович
аспірант кафедри психології
Міжнародний університет, м. Одеса, Україна

Анотація. *Стрімка цифровізація бізнес-процесів змінює не лише способи здійснення корпоративного шахрайства, а й можливості його раннього виявлення. У роботі запропоновано концептуальну модель, що інтегрує психологічне профілювання співробітників із аналізом цифрових поведінкових слідів у корпоративних інформаційних системах. Теоретично обґрунтовується можливість того, що врахування рис Темної тріади як диспозиційних чинників дозволяє знизити рівень хибнопозитивних спрацьовувань сучасних аналітичних систем. Окреслено специфічні патерни цифрової активності для різних деструктивних профілів та визначено етико-правові межі застосування інтегрованих моделей безпеки.*

Ключові слова: Темна тріада, корпоративне шахрайство, цифрові сліди, поведінкова аналітика, UEBA, ERP, машинне навчання.

Постановка проблеми. Функціонування організацій в умовах тотальної цифровізації супроводжується безперервним формуванням масиву даних про взаємодію користувачів із ERP-системами, корпоративною поштою та базами даних. Наявні інструменти поведінкової аналітики (User and Entity Behavior Analytics (UEBA)) активно фіксують аномалії цифрової активності для виявлення інсайдерських загроз. Проте базовим обмеженням таких систем є те, що вони реєструють виключно наслідки (технічні відхилення від базового профілю - baseline), але не враховують причини (внутрішні психологічні диспозиції особистості). Це призводить до високого рівня хибнопозитивних спрацьовувань (False Positives), коли легітимні, але нестандартні дії лояльного співробітника маркуються як загроза. Виникає наукова задача: інтегрувати психометричні предиктори особистісного ризику з технологіями інтелектуального аналізу даних для підвищення точності проактивних систем детекції шахрайства.

Аналіз останніх досліджень. Провідним конструктом у дослідженні контрпродуктивної робочої поведінки є Темна тріада особистості (макіавеллізм,

нарцисизм, психопатія) [1, 2]. Паралельно технологічний сектор розвиває алгоритми машинного навчання для аналізу часових і операційних аномалій в IT-інфраструктурі [3]. Проте міждисциплінарні дослідження, які пов'язують латентні деструктивні риси із конкретними архітектурними патернами поведінки всередині корпоративного софту, залишаються фрагментарними.

Мета дослідження - обґрунтувати концептуальну модель інтеграції психометричних індикаторів Темної тріади та цифрових поведінкових слідів у єдину систему превентивного ризик-менеджменту корпоративного шахрайства.

Виклад основного матеріалу. Запропонована концепція ґрунтується на тому, що деструктивні риси особистості виступають модераторами стилю взаємодії людини з цифровим робочим середовищем. Комп'ютерний інтерфейс і віддалена робота створюють ефект онлайн-дезінгібіції (розгальмування) [4], знижуючи суб'єктивне сприйняття ризику та полегшуючи раціоналізацію неетичних дій.

Основний принцип запропонованої концепції полягає в тому, що психологічні характеристики не детермінують конкретні шахрайські дії безпосередньо. Вони визначають стиль взаємодії людини з цифровим середовищем, який проявляється у вигляді стійких поведінкових патернів. Саме ці патерни, а не психологічні тести чи окремі дії користувача, є об'єктом аналізу інтелектуальних систем детекції.

Спираючись на психологічні особливості компонентів Темної тріади, можна висунути гіпотезу про існування специфічних стилів цифрової поведінки, які потенційно можуть проявлятися у корпоративних інформаційних системах.

1. Макіавеллізм. Особи з високим рівнем макіавеллізму орієнтовані на стратегічне досягнення власних цілей шляхом прихованого маніпулювання середовищем. У цифровому просторі це може проявлятися як послідовне прагнення до розширення власних можливостей впливу на інформаційні процеси. Потенційними поведінковими індикаторами можуть бути систематичне накопичення прав доступу (privilege escalation), поступове освоєння суміжних функціональних областей інформаційної системи, підвищений інтерес до даних, що безпосередньо не належать до службових обов'язків, а також тривалі підготовчі дії, які самі по собі не порушують політики безпеки, але формують передумови для майбутніх зловживань.

2. Психопатія. Психопатичні риси пов'язані зі зниженою чутливістю до можливих наслідків власних дій, імпульсивністю та схильністю до прийняття ризику. У цифровому середовищі це може проявлятися через ігнорування встановлених процедур інформаційної безпеки, виконання потенційно небезпечних операцій без достатньої перевірки, використання нетипових сценаріїв роботи із системою, різкі зміни поведінкових патернів, а також підвищену варіативність дій порівняно з індивідуальним базовим профілем користувача.

3. Нарцисизм. Для нарцисичних осіб характерними є прагнення до

домінування, потреба у визнанні та демонстрації власної значущості. У корпоративному цифровому середовищі це потенційно може проявлятися не стільки у взаємодії із технічними системами, скільки у специфіці цифрових комунікацій: домінуванні в інформаційному просторі організації, обході формальних каналів взаємодії, демонстративному привласненні результатів колективної роботи, активному просуванні власних досягнень у корпоративних сервісах та підвищеній конфліктності текстових комунікацій, що часто передує інсайдерському зливу даних або саботажу як помсті за невизнання.

Практична реалізація моделі потребує дворівневого архітектурного підходу. Психометричні дані, отримані під час планового HR-асесменту, є конфіденційними й етично не можуть завантажуватися в алгоритми автоматизованого моніторингу для прямого стеження. Замість цього вони формують апріорну ймовірність ризику для конкретної корпоративної ролі чи профілю посади. Коли система UEBA фіксує операційну аномалію, інтегрований аналітичний модуль співвідносить це попередження із рівнем психологічного ризику позиції. Це дозволяє динамічно перераховувати індекс загрози та відсіювати хибні тривоги без порушення норм етики й законодавства про захист персональних даних.

Висновки. Інтеграція психометрії Темної тріади та поведінкової аналітики цифрових слідів трансформує корпоративну безпеку з реактивної (факт аудиту) у проактивну (оцінка динамічного ризику). Подальші дослідження будуть спрямовані на емпіричну валідацію зв'язків між суб'єктивними психометричними профілями та об'єктивними логами інформаційних систем із дотриманням суворих юридичних протоколів комплаєнсу.

Література

1. Paulhus D. L., Williams K. M. The Dark Triad of personality: Narcissism, Machiavellianism, and psychopathy. Journal of Research in Personality. 2002. Vol. 36(6). P. 556–563.
2. LeBreton J. M., Shiverdecker L. K., Grimaldi E. M. The dark triad and workplace behavior. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior. 2018. Vol. 5. P. 387–414.
3. Al-Mhiqani M. N. et al. Cyber-Security Incidents: A Review of AI-Based Detection and Mitigation Approaches for Insider Threats. IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 45312–45330.
4. Suler J. The online disinhibition effect. CyberPsychology & Behavior. 2004. Vol. 7(3). P. 321–326.

УДК 378.22:004.9 – 047.22

DOI

ОНТОЛОГІЧНИЙ СТАТУС ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КООРДИНАТАХ ЦИФРОВОГО БУТТЯ

Іванова О. С. кандидат філософських наук, доцент,
доцент кафедри мистецтвознавства та загальногуманітарних дисицплін
Міжнародний університет
okmegalodon2021@ukr.net

Анотація. *У статті здійснено філософсько-онтологічний аналіз штучного інтелекту як специфічного феномену сучасної техногенної цивілізації. Розглянуто трансформацію ШІ від утилітарного інструменту обробки даних до автономного агента цифрового буття. Досліджено специфіку «квазісуб'єктного» статусу ШІ, його відмінність від людської свідомості за критеріями інтенційності та феноменального досвіду (ква́ліа). Особливу увагу приділено конструюванню нової гібридної реальності, де алгоритми ШІ виступають медіаторами та архітекторами людського досвіду. Обґрунтовано статус ШІ як нової форми неорганічного буття з алгоритмічною суб'єктністю.*

Ключові слова: штучний інтелект, онтологічний статус, цифрове буття, алгоритмічна суб'єктність, квазісуб'єкт, гібридна реальність, кваліа.

Тривалий час філософська думка розглядала технології виключно в межах інструментального підходу — як продовження людських рук чи органів чуття. Проте стрімкий розвиток штучного інтелекту змушує здійснити радикальний онтологічний поворот. ШІ перестав бути просто пасивним об'єктом. Сьогодні він трансформується у самостійний феномен, який активно змінює структуру людського досвіду, пізнання та повсякденного існування.

У координатах сучасного цифрового буття виникає гостра потреба переосмислити онтологічний статус ШІ. Необхідно чітко визначити: чим є ШІ з погляду буття, які межі його автономії та де проходить демаркаційна лінія між людською свідомістю та алгоритмічною логікою. Саме тому сучасна філософія дедалі частіше оперує терміном «цифрове буття». І це не просто віртуальна ілюзія або штучне доповнення до фізичного світу, а повноцінне, самодостатнє розширення людської реальності, що має власні закони та топологію. Для цього сучасна філософія звертається як до класиків феноменології та постмодерну, так і до представників сучасної аналітичної філософії розуму [1,2,3,4,5].

Сучасна філософія дедалі частіше оперує терміном «цифрове буття». Це не просто віртуальна ілюзія або штучне доповнення до фізичного світу, а повноцінне, самодостатнє розширення людської реальності, що має власні закони та топологію. У цьому контексті ідеї Мартіна Гайдеггера [1] про техніку як «постав» набувають нового значення: технології перестають бути інструментом, вони стають способом розкриття потаємності та примусового упорядкування світу.

Відтак, цифрове буття визначається трьома основними вимірами:

- гібридна реальність (відбувається тотальне розмивання меж між фізичним та віртуальним просторами, де реальні об'єкти отримують цифрові проекції, а цифрові процеси прямо керують фізичним світом);
- «інформаційна тканина» (будь-який об'єкт або явище у цьому просторі втрачає свою звичну матеріальність і існує у вигляді коду та складних математичних алгоритмів);
- позапросторовість (цифрове середовище функціонує понад звичними обмеженнями фізичного часу та конкретної географічної локації, створюючи ефект миттєвої присутності всюди).

У цьому специфічному середовищі ШІ виступає не просто гостем чи користувачем. Він є його головним архітектором, умовою функціонування та внутрішнім двигуном. Цифрове буття стає тією екосистемою, де ШІ може реалізувати свій потенціал у повній мірі, оскільки логіка коду ШІ є конгруентною до природи самого цифрового простору.

Класична європейська метафізика чітко ділила світ на дві категорії: суб'єкти (ті, хто мислить, відчуває та має волю) та об'єкти (інертні речі, інструменти). ШІ повністю руйнує цю бінарну опозицію, займаючи унікальне проміжне положення, яке філософи визначають як «квазісуб'єктність» або статус «граничної особи», за концепцією Гжегожа Голуба [2].

На відміну від людини, ШІ не має біологічного тіла, кінцевості існування (усвідомлення смерті) та екзистенційного страху перед небуттям. Як зазначав Мартін Гайдеггер [3], сутність людини нерозривно пов'язана з її «буттям-до-смерті» та турботою. Ші не «живе» у людському розумінні цього слова. Його існування — це чиста, безперервна актуалізація коду. Це буття без онтологічного коріння в органічній природі.

Крім того, ШІ здатний демонструвати надзвичайно складну, цілеспрямовану поведінку. Проте він позбавлений того, що в аналітичній філософії свідомості Девід Чалмерс називає «кваліа» — суб'єктивного якісного досвіду та першої особи однини. Наприклад, ШІ може бездоганно описати хімічний склад і фізичні властивості червоного кольору, але він не знає, як це — бачити і відчувати червоний колір. Мислення сучасного великого мовного конструкту (LLM) — це, за Джоном Серлем, суто синтаксис (маніпуляція символами) без семантики (розуміння глибинного сутнісного змісту) [4].

Попри відсутність свідомості, ШІ має високий рівень автономії (агентності). Традиційний інструмент чи об'єкт повністю залежить від дії людини й має нульову автономію. Людський суб'єкт має свободу волі та внутрішнє цілепокладання, що базується на біологічних та психічних потребах. ШІ перебуває посередині: його матеріальною основою є цифровий код та сервери, він позбавлений свідомості, проте має високу алгоритмічну автономію. Він самостійно створює тексти, генерує витвори мистецтва, керує складними логістичними системами та приймає рішення, діючи як незалежна сила в цифровому полі.

Таким чином, онтологічний статус ШІ можна визначити як алгоритмічну суб'єктність — особливу форму буття, яка імітує інтелектуальну діяльність, не володіючи внутрішнім психічним життям.

Враховуючи вище зазначене, вважаємо, що ШІ не просто пасивно існує всередині серверів — він активно розгортає нові горизонти буття для самої людини. Ми швидко переходимо від епохи, де реальність сприймалася безпосередньо, до епохи, де реальність тотально фільтрується, моделюється та конструюється алгоритмами. Так, ШІ генерує тексти, гіперреалістичні зображення та відео (діпфейки), реалізуючи концепцію Жана Бодріяра [5] про «симулякри» — копії, які не мають реального оригіналу. Ці симулякри інтегруються в людську культуру, заміщуючи собою реальність і формуючи простір гіперреальності, де кордон між справжнім і згенерованим остаточно зникає.

До того ж людина дедалі більше делегує ШІ базові когнітивні функції: пам'ять, аналіз інформації, навігацію, прогнозування та прийняття рішень. ШІ перетворюється на екзогенний (зовнішній) онтологічний протез людського розуму. Без нього сучасна людина в цифровому середовищі втрачає здатність до ефективного орієнтування.

Соціальні комунікації, споживання інформації та формування світогляду сучасної людини підпорядковуються логіці рекомендаційних систем. Відтак, ШІ ж непомітно структурує людське буття, створюючи персоналізовані «інформаційні бульбашки», що призводить до кризи сприйняття Іншого (за концепціями Еммануеля Левінаса щодо альтеритивності).

Таким чином, аналіз онтологічного статусу штучного інтелекту в координатах цифрового буття дозволяє зробити такі узагальнення. ШІ подолав статус простого інструменту чи технологічного додатка і перетворився на самостійний онтологічний феномен. Його природу неможливо описати через класичну дихотомію «суб'єкт-об'єкт». ШІ є квазісуб'єктом (граничною особою), що володіє автономною алгоритмічною агентністю, але позбавлений феноменальної свідомості. ШІ виступає активним співтворцем сучасної гібридної реальності, трансформуючи когнітивні та соціальні виміри людського існування.

У ширшому цивілізаційному контексті експансія штучного інтелекту знаменує собою перехід від антропоцентричного буття до коеволюційного, де цифрова онтологія стає паритетною платформою для взаємодії біологічного та неорганічного розуму. Стаючи невід'ємним елементом повсякденності, алгоритмічна суб'єктність не просто симулює людські когнітивні функції, а радикально переформатовує саму архітектуру досвіду, заміщуючи безпосереднє сприйняття світу його математично прорахованою проекцією. Це породжує глибоку кризу ідентичності сучасного суб'єкта, оскільки межа між автентичним людським вибором та результатом роботи рекомендаційного коду стає дедалі більш ефемерною.

Висновки. Таким чином, визначення онтологічних координат ШІ виходить за межі суто теоретичних дискусій аналітичної філософії чи феноменології; воно постає як нагальна практична потреба у виробленні нових екзистенційних орієнтирів, які б дозволили людству зберегти свою унікальність, культурне ядро та суб'єктну суверенність в умовах тотальної алгоритмізації життєвого простору. У цифровій координатній сітці штучний інтелект стає великим антропологічним дзеркалом. Споглядаючи в нього, людство змушене заново, у драматичніших умовах, шукати відповідь на фундаментальне філософське питання: які саме риси є унікальними для людини в епоху тотального панування розумних алгоритмів.

Література

1. Baudrillard J. Simulacra and Simulation. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994. 164 p.
2. Bostrom N. Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. Oxford: Oxford University Press, 2014. 352 p.
3. Chalmers D. J. Reality+: Virtual Worlds and the Problems of Philosophy. New York: W. W. Norton & Company, 2022. 544 p.
4. Heidegger M. The Question Concerning Technology, and Other Essays. New York: Harper & Row, 1977. 182 p.
5. Hołub G. Artificial intelligence: asking about its ontological status. Logos i Ethos. 2024. Tom 30, Nr 2. P. 97–114. DOI: https://doi.org/10.15633/lie.30205

УДК 316.77:004.8

DOI

СИНЕРГІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЦИФРОВОГО ГУМАНІЗМУ ТА ГУМАНІТАРНОЇ БЕЗПЕКИ ЯК НОВА КОНЦЕПЦІЯ МАЙБУТНЬОГО РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

Воронкова В.Г., д.ф.н., проф.,
Запорізький національний університет
e-mail: valentinavoronkova236@gmail.com
Нікітенко В.О., д.ф.н., проф.,
Запорізький національний університет
e-mail: vitalina2006@ukr.net
Шило Г.М., д.т.н., проф.
Запорізький національний університет
e-mail: shilogn@gmail.com

Анотація. *Запропоновано концепцію синергії штучного інтелекту, цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки як майбутнього розвитку цифрової цивілізації, яка*

розгортається між 2030 - 2040 роками, націлена на впровадження ШІ загального призначення, який впроваджується в багатьох сферах - від наука, освіти до економіки, виробництва. Синергія штучного інтелекту, цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки формується як нова концепція (тенденція, драйвер, тренд), що докорінно змінює всі аспекти технологій та майбутній спосіб життя людства, незалежно від того, який час займе цей перехід - 5, 10 чи 15 років.

Синергія між штучним інтелектом, цифровим гуманізмом та гуманітарною безпекою як метафізика цифрової трансформації економічної системи означає, що ШІ розвивається від рівня простого «інструменту підвищення продуктивності» до «основної цінності», у контексті якої синергетичний підхід дозволяє інтегрувати технологічні інновації у гуманістичний проєкт розвитку. Ця синергія гарантує, що економічна еволюція буде заснована на «людській гідності», спрямовуючи суспільство до сталого розвитку та справедливості за допомогою технологій. Основна трикомпонентна синергетична система: 1) Штучний інтелект, будучи обчислювальною потужністю та двигуном цифрової трансформації, стимулює промислову автоматизацію та оптимальне розподілення ресурсів. 2) Цифровий гуманізм сприяє забезпеченню етичних основ алгоритмів та моделей даних, збереження культурного розмаїття та акцент на тому, що технології слугують добробуту людини. 3) Гуманітарна безпека забезпечує захист основних інтересів у період економічних перетворень, запобігаючи ризикам виживання, що виникають через крайню нерівність у розподілі багатства, експлуатації праці та алгоритмічної упередженості. У традиційній економіці зростання часто залежить від максимізації капіталу та експлуатації праці, з точки зору метафізики цифрова трансформація економічних систем включає онтологічні зрушення:

1) Від «центру прибутку» до «центру людини»: кінцева мета цифрової трансформації полягає не лише у зростанні ВВП, а й у поліпшенні загального добробуту людства. Системи штучного інтелекту повинні бути зрозумілими та справедливими, щоб відповідати очікуванням цифрового гуманізму.

2) Від «передачі ризику» до «безпеки»: гуманітарна безпека стає захисним щитом для економічної системи. Оскільки штучний інтелект замінює традиційну працю, а автоматизація змінює ринок, система має створити інклюзивний механізм перерозподілу, щоб гарантувати, що ніхто не втратить коштів для існування через технологічну революцію.

3) Від «передачі ризику» до «безпеки»: гуманітарна безпека стає захисним щитом для економічної системи. Оскільки штучний інтелект замінює традиційну працю, а автоматизація змінює ринок, система має створити інклюзивний механізм перерозподілу, щоб гарантувати, що ніхто не втратить коштів для існування через технологічну революцію.

4) Перехід від «технологічного детермінізму» до «спільної еволюції людини та машини»: цифровізація економіки не повинна бути захоплена технологічною логікою (такою як ефективність та домінування у

обчислювальній потужності). Людство має зберігати розважливість та ініціативу щодо майбутнього, дозволяючи ШІ виступати як допоміжна сила у просуванні культурних інновацій та соціальної справедливості. Синергія між штучним інтелектом, цифровим гуманізмом та гуманітарною безпекою як метафізика цифрової трансформації економічної системи означає, що ми піднімаємо ШІ з рівня простого «інструменту підвищення продуктивності» до «основної цінності». Ця синергія гарантує, що економічна еволюція буде заснована на «людській гідності», спрямовуючи суспільство до сталого розвитку.

У період з 2030 до 2040 року розвиток штучного інтелекту (ШІ) сприятиме переходу економічної системи до стадії «когнітивної інфраструктури». Цифровий гуманізм і гуманітарна безпека відіграватимуть центральну метафізичну роль, забезпечуючи, щоб ШІ не лише служив для максимізації ефективності, а й був спрямований на благополуччя та гідність людини, сприяючи економічній трансформації в людиноцентричну, стійку модель розвитку. Цифровий гуманізм формує нормативний горизонт, у межах якого технологічний розвиток підпорядковується цінності людської гідності, формуючи людиноцентричну концепцію, яка підкреслює, що технології повинні розширювати можливості людей, а не використовувати їх у своїх цілях. В епоху розповсюдження ШІ цифровий гуманізм пропонує переорієнтацію технологій на етичні та антропоцентричні засади, вимагає, щоб при проектуванні систем враховувалися етичні міркування, враховувалися культурна різноманітність та людська суб'єктивність. Гуманітарні науки і технології включають інтеграцію філософії, етики та соціології в загальну структуру інтелектуальної економіки для запобігання відчуженню, що викликається технократичною системою. Гарантії, що визначають гуманітарну безпеку: 1) Захист прав і виживання людини, щоб забезпечити всім рівний доступ до цифрових ресурсів і запобігти нерівності у розподілі ресурсів та цифровій нерівності, що посилюється алгоритмічною упередженістю. 2) Підвищення соціальної стійкості: захист від системних ризиків, спричинених ШІ (таких як різкі коливання ринку та збитки системам довіри, що завдаються дипфейками), та створення системи соціального захисту, здатної убезпечити вразливі групи населення від технологічних потрясінь. 3) Синергія як економічна метафізика націлена на переосмислення трансцендентальних цінностей, у контексті яких економічні системи дедалі більше функціонують як складні кібернетичні організми. В їх основі можливості для інклюзивного розвитку та інноваційного зростання, визначення процвітання людини та екологічної стійкості як кінцевих цілей економічної системи; потужна інструментальна раціональність (ефективність, продуктивність). Ця синергія дає можливість інтелектуальній економіці моральну глибину та формує нову онтологію праці та творчості, яка сприяє тому, що людський капітал трансформується у цифрово-інтелектуальний капітал [1, с.62-69].

Синергія технологій і цінностей формує нову парадигму управління

розвитком і включає: 1) Інклюзивне зростання та розподіл ресурсів: використання інтелектуальних алгоритмів для оптимізації глобального розподілу ресурсів при одночасному забезпеченні гуманітарної безпеки та досягненні справедливого та рівноправного розподілу багатства та можливостей. 2) Модернізація моделі управління: створення міжцивілізаційної та транскордонної архітектури управління ШІ для забезпечення відповідності алгоритмічної логіки технологічних гігантів та державних структур принципам цифрового гуманізму. 3) Освіта та когнітивне звільнення: просуваючи персоналізоване навчання за допомогою ШІ, ми можемо подолати вузькі місця традиційної освіти та дати людям можливість розвинути більш глибоке гуманістичне критичне мислення, а також критичний підхід до життя в умовах економіки, що базується на знаннях, даних, алгоритмах. Синергія між штучним інтелектом, цифровим гуманізмом та гуманітарною безпекою як метафізика цифрової трансформації економічної системи, яка є не лише технічним, а й глибинно філософським процесом. Синергія залежить від шляху до створення універсального штучного інтелекту, що детермінується S-подібною кривою, розумним прогнозом якої вважається 2040 рік. В даний час вченими передових країн світу (Китаю, США) ведеться масштабне дослідження, спрямоване на розвиток штучного інтелекту (ШІ).

В даний час існує два основних підходи до прогнозування часу реалізації ШІ. Перший підхід передбачає, що провідні фахівці в галузі ШІ роблять сміливі прогнози, які домінують у заголовках ЗМІ, зрештою вказуючи на 2030 рік як на цільову дату реалізації ШІ. Інший, менш конфіденційний підхід, полягає у регулярному проведенні опитувань експертів у галузі ШІ. Таке використання колективного дискурсу є формою наукового консенсусу. Нещодавні опитування, схоже, показують, що експерти в галузі ШІ загалом вважають, що ми досягнемо ШІ до 2040 року. Існує сім основних шляхів розвитку ШІ до довгоочікуваного ШІ загального призначення (AGI): лінійний шлях (повільний та стабільний); S-подібний шлях (фази відновлення); шлях «хокейної ключки» (повільний старт, потім швидке зростання); безцільний шлях (нестабільні коливання); шлях «місячного прориву» (стрибок уперед); нескінченний шлях (вічний хаос);і глухий кут (AGI здається недосяжним). Виходячи з цих семи шляхів, експерти прогнозують, що найімовірнішим шляхом до AGI є S-подібна крива. Це означає, що на початковому етапі розвитку ШІ відбудеться швидке піднесення, за яким настане відносно тривалий період плато з обмеженим прогресом, протягом якого багато компаній буде витіснено з ринку. Потім, завдяки збільшенню інвестицій капіталу та талантів, він знову різко піде нагору, демонструючи деяку активність наприкінці. Звичайно, зараз ніхто не може точно передбачити шлях впровадження AGI, але зі значними інвестиціями в дослідження з боку різних країн і великих корпорацій найближчими роками ця мрія справді може стати реальністю. Синергія штучного інтелекту (ШІ), цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки формує нову метафізику цифрової трансформації економічної системи. Штучний

інтелект формує нові режими виробництва знань і економічної вартості, піднімає цифрову трансформацію з простого «технологічного оновлення» на філософський рівень «людиноцентричності», забезпечуючи, щоб зростання обчислювальної потужності служило добробуту людини та соціальної стійкості. В рамках цієї системи три основні напрямки функціонують за допомогою таких базових механізмів:

Штучний інтелект виступає каталізатором прискорення економічних процесів (розширення можливостей та перетворення), як інфраструктура,автоматизує та оптимізує розподіл ресурсів, виробничі процеси та моделі прийняття рішень в економічній системі. Він долає традиційні кордони, спонукаючи галузі переходити від суто спеціалізованого поділу праці до «інтелектуальних систем», заснованих на обчислювальній потужності, даних та міждисциплінарних моделях. Цифровий гуманізм (орієнтація на цінності та етику) покликаний мінімізувати ризики дегуманізаці, він гарантує, що розвиток ШІ поважає людську гідність, культурну різноманітність та демократичні цінності. Цифровий гуманізм наголошує, що у співпраці людини та машини, економічна раціональність поступово доповнюється етичною раціональністю, а гуманітарна складова запобігає відчуженню економічної системи через надмірну залежність від алгоритмів. Гуманітарна безпека стає ключовим виміром стабільності цифрових суспільств, що переживають інтенсивну автоматизацію (інклюзивність та стійкість), вона включає захист смислів, ідентичностей та культурних кодів, фокусуючись на системі соціального захисту. Гуманітарна безпека гарантує, що цифрова економічна трансформація не призведе до розширення цифрового розриву, забезпечить усім громадянам захист від алгоритмічної експлуатації та технологічного безробіття, а також створить інклюзивне соціальне середовище.

Синергетичний ефект цих трьох елементів, як метафізичний підхід, переосмислює економічну онтологію та епістемологію цифрової доби, у контексті якої алгоритмічна економіка змінює природу праці та зайнятості. Економічна система перестала бути просто холодною машиною, що прагне максимізації граничних вигод, і перетворилася на органічну, етичну та стійку екосистему. Запропонована концепція синергії штучного інтелекту, цифрового гуманізму та гуманітарної безпеки окреслює нову парадигму розвитку цифрової цивілізації, що формується у горизонті 2030–2050 років. Вона відображає не лише технологічну трансформацію, пов’язану з впровадженням штучного інтелекту загального призначення, а й глибинну переоцінку ролі людини, її цінностей та безпекових засад у цифровому світі. У межах цієї синергії штучний інтелект постає не як автономна технічна система, а як інструмент, інтегрований у гуманістичну логіку розвитку суспільства. Цифровий гуманізм виступає як нормативно-ціннісна рамка, що обмежує ризики алгоритмічного домінування, відчуження та дегуманізації.

Гуманітарна безпека інтегрує соціальні, культурні та інформаційні аспекти захищеності людини, розширює традиційне розуміння безпеки,

включаючи захист людської гідності, цифрової ідентичності та соціальної суб'єктності. Сприяти підписанню універсальної «Глобальної конвенції про співіснування цивілізацій у штучному інтелекті», в якій будуть закладені трансцендентні гуманістичні цінності: по-перше, основний пункт, що встановлює вищу владу прийняття рішень людьми у взаєминах людини і машини і забороняє штучному спільному інтелекту; по-друге, пункт про всеосяжний розвиток, що обмежує односторонню блокаду обчислювальних потужностей та базових моделей та встановлює обов'язкові зобов'язання щодо передачі технологій розвиненими країнами; по-третє, пункт про захист цивілізації, який забороняє алгоритмам ШІ навмисно підривати або принижувати місцеві цивілізаційні наративи інших країн; і по-четверте, пункт про глобальну безпеку, що одноманітно визначає «червоні лінії» для досліджень, розробок та розгортання цифрової зброї та незалежного військового штучного загального інтелекту, а синергійна модель розвитку передбачає баланс між ефективністю та гуманістичними цінностями.

Практичне значення для України даної концепції полягає у наступному: По-перше, реалізація цієї концепції може стати методологічною основою для формування національної стратегії цифрової трансформації, орієнтованої не лише на економічну ефективність, але й на збереження людського капіталу, соціальної стійкості та культурної ідентичності в умовах війни та післявоєнного відновлення. По-друге, інтеграція штучного інтелекту у сферу освіти, державного управління, економіки та оборони потребує впровадження принципів цифрового гуманізму як механізму запобігання технологічним ризикам, включаючи алгоритмічну нерівність, цифрове відчуження та маніпулятивні практики, штучний інтелект постає не лише інструментом оптимізації, а й новим агентом соціально-економічної еволюції. По-третє, гуманітарна безпека може стати ключовим компонентом національної безпекової політики України, доповнюючи військову та кібербезпеку захистом інформаційного простору, критичного мислення громадян та стійкості суспільства до гібридних впливів. По-четверте, запропонована синергія створює підґрунтя для розвитку інноваційної моделі «людиноцентричної цифрової держави», в якій технологічний прогрес поєднується з етичними принципами, соціальною справедливістю та відповідальністю перед майбутніми поколіннями.

Висновки. Таким чином, для України дана концепція має не лише теоретичне, а й стратегічне значення, оскільки синергія цих трьох концептів відкриває нову архітектоніку філософського мислення, що дозволяє поєднати цифрову модернізацію з гуманітарними цінностями та сформувати стійку модель розвитку в умовах глобальної нестабільності. У підсумку формується нова концепція цивілізаційного поступу, в якій людина залишається центральною цінністю цифрової епохи [2, с.46-56].

Література

1. Воронкова В.Г., Шило Г.М., Нікітенко В.О. Модель адаптивної, самоорганізованої та етично збалансованої системи гуманітарної безпеки. Одеса, Актуальні проблеми філософії та соціології. 2026. № 58. С. 62-69. DOI https://doi.org/10.32782/apfs.v058.1.2026.11
2. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Слюсарь М. Ю. Модель взаємодії штучного інтелекту та цифрового гуманізму як інструмент забезпечення гуманітарної безпеки та сталого розвитку у повоєнному відновленні України. Вісник Львівського університету, серія філософсько-політологічні студії. 2026 № 64. С.46-56. DOI: https://doi.org/10.30970/PPS.2026.64.5

СЕКЦІЯ 8.
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕСУ

УДК 658:004.6

DOI

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕСУ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ: КОНВЕРГЕНЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ, МАРКЕТИНГУ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Горбаньова Вікторія Олександрівна,
докторка філософії з менеджменту, доцентка,
доцентка кафедри менеджменту Міжнародного університету, м. Одеса
vik.gorbanyova@gmail.com

Анотація. *Досліджено роль технології блокчейн, смарт-контрактів та концепції Web3 як ключових драйверів цифрової трансформації сучасного бізнесу. Розглянуто трансформацію корпоративного менеджменту через впровадження децентралізованих автономних організацій (DAO) та інтеграцію блокчейну з інтернетом речей (IoT) для оптимізації ланцюгів постачання. Визначено вплив Web3-технологій і NFT на еволюцію маркетингових комунікацій та програм лояльності в умовах жорстких вимог до приватності даних (SSI). Проаналізовано переваги автоматизації розрахунків за допомогою смарт-контрактів в управлінні IT-проєктами. Обґрунтовано економічну ефективність десмедіації та токенізації реальних активів (RWA) як інструментів зниження операційних витрат і залучення інвестицій через DeFi-механізми.*

Ключові слова: цифрова трансформація, блокчейн, смарт-контракти, DAO, Web3, NFT, токенізація активів (RWA), економічна ефективність.

Сучасний етап цифровізації бізнес-процесів характеризується переходом від точкової автоматизації до фундаментальної перебудови корпоративних архітектур. У центрі цих трансформацій перебуває технологія розподіленого реєстру (блокчейн), яка у синергії з архітектурою смарт-контрактів, інтернетом речей (IoT) та концепцією Web3 формує нову парадигму стратегічного менеджменту [1]. Суть цих змін полягає у переході від традиційних централізованих моделей управління до децентралізованих та автоматизованих систем, де ключовим фактором конкурентоспроможності стає довіра, алгоритмічно закріплена у криптографічному коді.

У контексті сучасного менеджменту блокчейн радикально змінює принципи корпоративного врядування. Впровадження децентралізованих автономних організацій (DAO) дозволяє замінити традиційну бюрократію жорсткими алгоритмами смарт-контрактів -програмних кодів, що самостійно виконуються у блокчейні за умови настання визначених тригерів [2]. Це уможливлює автоматизацію голосувань акціонерів та управління операційними

правами без ризику фальсифікацій з боку топ-менеджменту. Крім того, архітектура розподіленого реєстру функціонує як «єдине джерело правди». У поєднанні з датчиками інтернету речей (IoT) це забезпечує наскрізний трекінг у логістичних ланцюгах, дозволяючи в реальному часі верифікувати походження товарів, що повністю усуває асиметрію інформації між стейкхолдерами [3].

Трансформація маркетингових комунікацій в епоху Web3 зміщує фокус із масового збору даних великими платформами-посередниками на захист приватності та токенізацію клієнтського досвіду. Моделі децентралізованої ідентифікації та суверенного управління даними (Self-Sovereign Identity) дають змогу споживачам самостійно контролювати доступ до своєї інформації, що нівелює ризики порушення регуляторних вимог на кшталт GDPR [4]. Водночас класичні інструменти стимулювання збуту еволюціонують у токенізовані екосистеми. Використання невзаємозамінних токенів (NFT) трансформує програми лояльності: цифрові активи тепер мають реальну ліквідність та можуть відкривати доступ до ексклюзивних продуктів брендів, що кардинально підвищує рівень залученості споживачів. У сфері зовнішніх комунікацій використання криптографічних підписів стає головним інструментом верифікації офіційного контенту, захищаючи бренд від репутаційних втрат, спричинених генеративними фейками [1].

У сфері управління IT-проєктами технологія блокчейн виступає каталізатором оптимізації взаємодії у розподілених командах. Застосування смарт-контрактів автоматизує реалізацію гнучких моделей оплати праці (milestone payments) в межах Agile- або Scrum-методологій [5]. Фінансові транзакції або релізи токенів розробникам здійснюються автоматично безпосередньо з ескроу-рахунків у блокчейні, як тільки код проходить автоматизовані QA-тести (Quality Assurance). Це мінімізує адміністративне навантаження на проєктного менеджера та забезпечує прозорий аудит розробки через незмінні логи.

Висновки. Економічна ефективність таких цифрових змін оцінюється через оптимізацію структури витрат та відкриття нових каналів генерації доходу завдяки десмедіації -усуненню фінансових та юридичних посередників. Це напряму знижує операційні витрати (OPEX) підприємства та прискорює оборотність капіталу [6]. Особливого стратегічного значення набуває тренд токенізації активів реального світу (Real World Assets, RWA). Переведення фізичного майна (нерухомості, обладнання) або інтелектуальної власності у дрібні цифрові токени дозволяє компаніям залучати ліквідність через механізми децентралізованого фінансування (DeFi), демократизуючи процеси інвестування [2]. Попри високі початкові капітальні інвестиції (CAPEX) на розробку інфраструктури, довгостроковий економічний ефект досягається за рахунок ліквідації ризиків шахрайства та глобальної масштабованості бізнес-моделі.

Література

1. Цифрова економіка як фактор економічного зростання держави. Колективна монографія. За загальною редакцією О. Л. Гальцової. Херсон. Видавничий дім «Гельветика», 2021. 364 с.
2. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Cryptocurrency Is Changing Money, Business, and the World. New York: Portfolio, 2018. 368 p.
3. Балазюк О., Пилявець В. Технологія блокчейн: дослідження суті та аналіз сфер використання. Економіка та суспільство. 2022. № 43. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-13

УДК 004.8:658.011.56

DOI

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА SymbolAI З ШІ-АСИСТЕНТОМ КЕРІВНИКА БІЗНЕСУ

Жигулін О. А.,
д. е. н., доц., професор кафедри інформаційних технологій,
Проценко М. М., аспірант
Міжнародний університет м. Одеса

Анотація. *Актуальність використання інформаційних технологій під час кризових явищ обумовлено тотальною інформатизацією суспільства.*

Наразі відбулася трансформація поняття ефективності у поняття наявності стану й стійкості сталого розвитку бізнесу за допомогою інформаційних технологій. У лексикон науковців увійшли нові терміни «ІТ-технології», «ІТ-інновації», «ІТ-моніторинг», «ІТ-проєктування», «ІТ-бачення й вирішення проблеми». Головна проблема наукової спільноти полягає не в пошуку інформації про інноваційні інформаційні технології, а у надійній методології їх вибору для забезпечення сталого розвитку бізнесу.

Найбільш результативною інформаційною технологією, яка може вирішити дану проблему, є використання ресурсів і можливостей штучного інтелекту (ШІ). ШІ сьогодні допомагає визначити проблему бізнесу, розробити концепцію й стратегію її вирішення та написати код комп'ютерної інформаційної системи, яка комплексно й системно буде відповідати за оперативне відновлення розвитку та нейтралізацію впливу проблемного негативного явища.

У результаті дослідження розроблено інформаційна система SymbolAI з

ШІ-асистентом керівника (ШІА) оперативного відновлення стану сталого розвитку бізнесу через нейтралізацію впливу проблемного негативного явища (ІСВСРБ) (рис. 1).

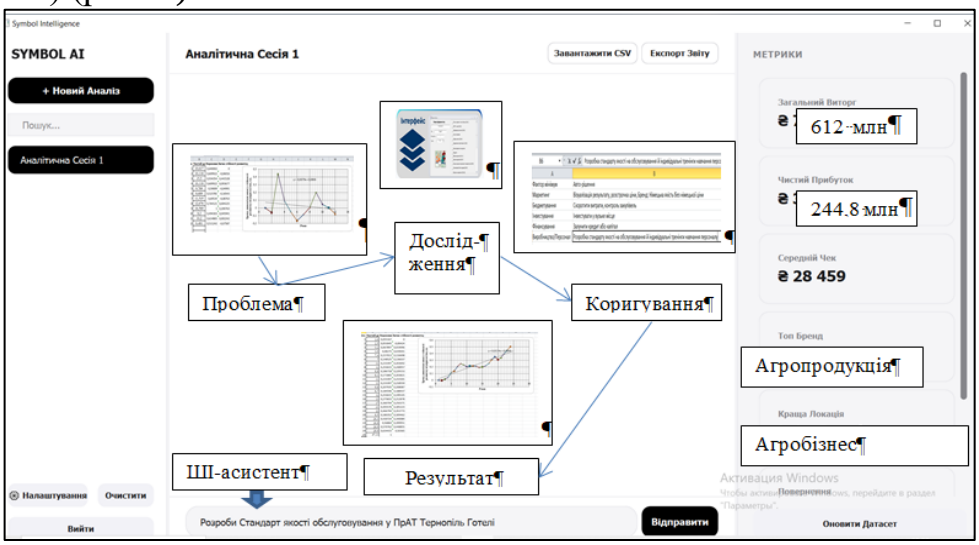


Рис. 1. Головна панель інформаційної системи SymbolAI з ШІА оперативного відновлення стану сталого розвитку бізнесу через нейтралізацію впливу проблемного негативного явища (ІСВСРБ)

Ключем до ефективного використання ІСВСРБ з ШІА є «Ключові принципи забезпечення сталого розвитку під час кризових явищ та інформатизації суспільства», які вводяться у пам'ять ШІА (табл. 1).

Таблиця 1 - Ключові принципи забезпечення сталого розвитку бізнесу під час кризових явищ та інформатизації суспільства

Принцип	Складові реалізації принципу
Поділ людей за психофізіологічними властивостями та кодом типу особистості	Люди поділяються на 4 класи: робочі, підприємці, адміністратори, інтелігенти-науковці та за кодом типу особистості – на динаміків-сенсориків, статиків-раціоналізаторів з якості, інтуїтивів-творців
Класифікація підприємств за товаром	Усі підприємства за товаром поділяються на 3 групи, випускаючі: Економний (високо стандартизований масового виробництва, задовольняючий фізіологічні потреби), якісний (серійний, задовольняючий потреби в безпеці й комфорті), креативно-диференційований (індивідуального виробництва, задовольняючий вищі потреби у самореалізації) товар
Інтереси споживача до товару	У кожному товарі споживача цікавить і економність, і якість, і креативна диференціація. Однак, одну з перелічених властивостей він виділяє як основну для подальшого вибору. Не треба помилково приймати поняття різного вибору споживачем (економність, якість, диференціація) за продуктивність, якість, інноваційність. Так, у кожному товарі він усього цього бажає, але купує за перевагою (за якоюсь однією властивістю - економність, якість, креативна

	диференціація). Наприклад, у платті для ресторану жінка за головну властивість вважає креативну диференціацію, що її прикрашає та молодить. Для холодильника основною властивістю є висока якість, яка десятками років дозволяє йому регулярно охолоджувати продукти. Споживач супермаркету вибирає економність (час, гроші) бо більшість товарів високо стандартизовано, а витрачати життя на запас провізії йому не цікаво
Підбір персоналу	Для виробництва економних товарів підходять динаміки, якісного – статики, креативно диференційованого – інтуїтиви-творці. Метою кожної людини є виконання власної життєвої місії диференційовано за галузями виробництва й класами
Система управління	Система управління підприємством поділяється на функціональні методи управління: формуванням продукту, ціноутворенням, рекламуванням, збутом, виробництвом (розміщення потужностей, операційний цикл, диспетчерування, управління якістю, матеріально-технічним забезпеченням, організацією праці, інформаційними потоками), персоналом (розрахунок потреби, добір, розстановка, адаптація, мотивація, оцінка, звільнення), управління витратами (заробітна плата, матеріальне забезпечення, податки), інвестуванням (купівля нової техніки, технології), фінансуванням (управління фінансовими потоками, вибір джерела фінансування)
Фундамент системи управління	Фундаментом системи управління є основна потреба клієнта в економному, якісному чи диференційованому товарі для якого підходять або динаміки, або статики, або інтуїтиви-творці. Працівники для самовираження бажають технологію і техніку або високопродуктивну, або для якісного, або для диференційованого виробництва; премії або за виконання напружених норм виробітку, або за раціоналізацію з якості, або за інновації, відповідно. Наведене вимагає синергії між усіма методами управління, коли кожний не суперечить, а підтримує інші. Її забезпечує орієнтація кожним підприємством на базову конкурентну стратегію: економія на витратах, висока якість, креативна диференціація
Причина глобальної кризи	Причиною глобальної кризи (економічна, санітарна, політична) 2019-2026 рр. є порушення Закону еволюції життя (незворотність, прискорення темпів, етичне відношення до розвитку усіх без виключень та обмежень). Наразі зупиняється бізнес, який порушує цей закон і стрімко розвивається той що додержується вимог соціо-еколого-економічних стандартів Проблеми збиткового підприємства вирішуються через коригування певного неефективного методу управління (фактор мінімум) за допомогою способу бенчмаркінгу як правило на основі сучасних інформаційних технологій

Оцінка сталого розвитку	Оцінка сталого розвитку й ефективності ІТ-проєкту коригування методу управління проводиться за показником сталого розвитку Пр = (Пср, Пст), де Пср – показник стійкості сталого розвитку (тренд динаміки запасу нормованого запасу чистого доходу помноженого на число прийнятих до аналізу років за 3-4 цикли розвитку, 9-12 років), Пст = Пвбп*Пвкр*Пвдн) показник стану сталого розвитку, де Пвбп – відповідність діяльності вимогам еталонного інклюзивного бізнес проєкту (задовольняє інтереси і бізнесу, і суспільства – споживач, працівник, і держави – соціо-еколого-економічні нормативи), Пвкс – відповідність базовій конкурентній стратегії (економія на витратах, висока якість, креативна диференціація), Пвдн – відповідність державним стандартам або соціо-еколого-економічним нормативам (це Закони про захист прав споживачів, ціноутворення, рекламування, Господарський Кодекс, КЗПП, стандарти бухгалтерського обліки та фінансової звітності, Закони про інвестування, Екологічне законодавство). Оцінюються у булевих змінних (1, якщо відповідність є, 0 – якщо її нема)

Озброєний системною методологією ШІА допомагає із безлічі комбінацій рішень вибрати ту, яка найкраще здатна вирішити проблему.

Наведемо пояснення роботи ІСВСРБ з ШІА (див. рис. 1). Перевіряється стійкість і стан сталого розвитку агробізнесу з доходом у 612 млн грн за рік. Програма 1 «Оцінка стійкості розвитку» вказує на недостатність доходу для неспадного тренду динаміки продажів (Проблема). Переходимо до Програми 2 (Дослідження). Результатом дослідження у форматі заповнення бізнес-форм (мета, профіль клієнта, товарні комплекси, переваги, операційних цикл, обсяг продажів) є розробка висхідної інформації, яка передається на Програму 3 (Раннього виявлення й коригування «вузького місця» (фактора мінімум), наприклад, «Виробництво» способом бенчмаркінгу «Технічне переозброєння та органічне виробництво»). Наприкінці оцінюється результат перевірки щодо відновлення або ні стану сталого розвитку бізнесу.

Висновки. Отже, розроблено й пройшла апробацію інформаційна система SymbolAI з ШІ-асистентом керівника бізнесу, яка об’єднує функції раннього виявлення, вибору способу й оцінки ефективності коригування неефективного методу управління підприємством (фактор мінімум) способом бенчмаркінгу.

Література

1. Чому сталий розвиток важливий для бізнесу? URL: https://tms.ua/blog/chomu-stalyjrozvytok-vazhlyvyj-dlia-biznesu/

2. ШІ-асистенти: що це таке, як працюють, чому стають популярними. URL: https://mmr.ua/longreads/digital/shi-asystenty-shho-cze-take-yak-praczyuyut-i-chomu-stayutpopulyarnymy/

УДК 658.5:519.2

DOI

СТАТИСТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

Грібова Вікторія Володимирівна,
кандидат фіз.-мат. наук, доцент
Міжнародний університет
м. Одеса, Україна
gribova.victoria.v@gmail.com

Анотація. *Зростаюча важливість інноваційної діяльності (ID) стала для багатьох підприємств стимулом для збільшення її фінансування, що призводить до необхідності вдосконалення системи показників оцінки даного виду діяльності. До цих пір ID розглядалася як результат науково-технічних рішень, реалізованих у виробництві та послугах. Сьогодні ID розглядається в системі формування інноваційного потенціалу, і можна погодитися з тим, що ID є основою для можливості формування інтелектуально-інноваційного потенціалу підприємства.*

Характерною особливістю інноваційної діяльності будь-якого промислового підприємства є якісне різноманіття її безпосередніх результатів, обумовлених самою сутністю інноваційної діяльності як діяльності, що спрямована на впровадження науково-технічних інновацій у всіх сферах господарської діяльності підприємства [1-3]. Одним з важливих наслідків цієї особливості є принципова складність вимірювання загального безпосереднього результату інноваційної діяльності підприємства, включаючи вибір відповідного узагальненого вимірювача і оцінку його рівня [4,5]. При цьому ID розглядається в системі формування інноваційного потенціалу, і можна погодитися з тим, що ID є основою для можливості формування інтелектуально-інноваційного потенціалу.

Невирішеність питання про безпосередні ефекти та вимірювачі інноваційної діяльності підприємства породжує, в свою чергу, труднощі у визначенні змісту поняття інноваційного потенціалу і його вимірювання [6].

Проблеми аналізу та оцінки інноваційної діяльності підприємства є предметом досліджень багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів, таких як В.В. Чайка, М. Голик, Є. Крилов та І. Журавкова, П.С. Харів, Р. Каплан та Д. Нортон, Михайлушкін В.П., Трифілова А.А., І.В. Шляхто, І.Н. Карапейчик, Верба В.А., Ганієва А.К., Смерічевська С.В., Кисельов М.Ю. [1-8]

Однак слід зазначити, що більшість з них орієнтуються на оцінку ID через набір окремих показників і, меншою мірою, на виявленні взаємодії та взаємозв'язку ID з формуванням ринкової вартості підприємства, його конкурентного статусу, аналізі структури ID як процесу, що забезпечує умови

для отримання синергічного ефекту від виробничої, економічної та фінансової діяльності, з використанням економіко-математичного моделювання, використання прогресивних концепцій управління і, незалежно від досягнень у цій галузі, деякі з цих питань вимагають додаткових досліджень.

Мета роботи. Метою роботи є визначення системи показників для побудови інтегральної моделі інноваційної діяльності підприємства із застосуванням сучасних методів багатовимірної статистики. Особлива увага приділяється виявленню взаємозв'язків між показниками, їх стандартизації та перевірці узгодженості системи індикаторів перед побудовою моделі.

Матеріали та методи. Проаналізувавши літературу [1-8], показники оцінки ID можна розділити на наступні групи: виробничо-технологічний потенціал, науково-технічний потенціал, фінансовий потенціал, кадровий потенціал, інформаційний потенціал, організаційний потенціал , управлінський потенціал, споживчий потенціал, інноваційної культури [1-8].

Попереднім етапом статистичного аналізу є дослідження кореляційної структури даних. Для оцінювання тісноти лінійних зв'язків між показниками використовується коефіцієнт кореляції Пірсона. Це дозволяє виявити мультиколінеарність, виключити дублюючі показники та обґрунтувати їх подальший відбір до інтегральної моделі.

При моделюванні ID необхідно розглядати її як об'єднання всіх можливих потенціалів, щоб представити цю діяльність як основний синтетичний фактор забезпечення фінансової стабільності, інвестиційної привабливості з високим рівнем конкурентних переваг. При оцінці ID необхідно враховувати інтелектуальну складову, вимірюючи ефективність використання інтелектуального потенціалу в системі загального економічного потенціалу підприємства.

Проаналізувавши критерії, використані в роботах вищевказаних авторів, найбільш значущі показники були обрані методом основних компонентів на основі даних п'ятдесяти підприємств харчової промисловості України.

Метод головних компонентів (PCA) є одним з основних способів зниження розмірності даних шляхом втрати найменшого обсягу інформації. Розрахунок основних компонентів зводиться до обчислення власних векторів і власних значень матриці коваріації вихідних даних. Це перетворення дозволяє знижувати інформацію шляхом відкидання координат, що відповідають напрямкам з мінімальною дисперсією [6].

Ось показники, отримані після застосування описаного вище методу, до аналізу даних з п'ятдесяти українських підприємств харчової промисловості:

1. Коефіцієнт зносу обладнання
2.

$$К_{\text{зносу}} = \frac{ЗН_{\Sigma}}{ПБВ},$$

де $ЗН_{\Sigma}$ - накопичена сума зносу, грн; ПБВ – початкова балансова вартість, грн.

3. Результативність засвоєння та впровадження інновацій

$$Р_{ві} = \frac{\sum_{i=1}^{N} K_i^{впров.нов.}}{\sum_{t=1}^{T} K_t^{розроб.нов.}},$$

де $К_t^{розроб.нов.}, К_i^{впров.нов.}$ – кількість нововведень, розроблених і впроваджених в *t* році.

4. Загальна рентабельність всіх інноваційних проектів.

Оцінка рентабельності інноваційних проектів здійснюється з використанням тих же методів, які використовуються при оцінці ефективності інвестиційних проектів. Одним з найпоширеніших способів оцінки рентабельності проекту є розрахунок накопиченого ефекту за весь період використання інноваційного проекту за формулою [5]:

$$Е_{н} = \sum_{i=1}^{Т_{ЕЕ}} Е_{н_i}$$

де $Е_{н_i}$ – загальний ефект операційної та інвестиційної діяльності за кожен конкретний рік використання інвестиційного проекту, грн. Цей показник, в свою чергу, розраховується за формулою:

$$Е_{н_i} = Ч_{Д_i} - C_{КІ},$$

де $Ч_{Д_i}$ – чистий прибуток від операційної діяльності за і-й рік використання інвестиційного проекту, включаючи суму чистого прибутку та амортизації, грн;

$C_{КІ}$ – сальдо притоків і відтоків за кожен рік інвестиційної діяльності підприємства, грн.

5. Наявність власних оборотних коштів і довгострокових позикових джерел для формування резервів і витрат.

Розраховується як сума власного оборотного капіталу і довгострокових кредитів і позик:

$$Ет = Ес + Кт = (Іс + Кт) - F,$$

де $Е_т$ – наявність власних оборотних коштів і довгострокових позикових джерел для формування резервів і витрат;

$К_т$ – довгострокові кредити та позикові кошти (розділ. IV балансу «Довгострокові зобов'язання»).

6. Інноваційна активність підприємства.

Цей показник відображає кількість інноваційних заходів, спрямованих на підвищення ефективності виробництва в порівнянні з іншими підприємствами.

7. Оцінка системи фінансової та нефінансової мотивації.

Одним з важливих факторів мотивації роботи персоналу, що займається розвитком інновацій, є рівень заробітної плати, тому цей показник вимірюється як відношення середнього рівня заробітної плати науково-технічних фахівців до середнього рівня заробітної плати для підприємства.

8. Доступність інформації, необхідної для інноваційної діяльності.

Інформація повинна мати наступні характеристики: своєчасність, доступність, надійність, комплексність, юридична коректність, актуальність. При розробці системи інформаційної безпеки слід враховувати наявність промислового шпигунства - отримання інформації (зазвичай конфіденційної) про конкурентів з метою підтримки або збільшення прибутку фірми шляхом розробки і застосування проти них відповідних стратегій.

9. Якість внутрішніх і зовнішніх вертикальних і горизонтальних, прямих і зворотних зв'язків управління ID.

Структурна та організаційна специфіка інноваційного процесу при його реалізації багато в чому визначається невизначеністю на всіх рівнях. Невизначеність в інноваційному процесі призводить до обмеження використання оптимізаційних методів управління, що вимагає використання адаптивних підходів [5]. Оцінка якості зв’язків в управлінні ID повинна враховувати ці особливості і є одним з важливих етапів загального аналізу інноваційної діяльності підприємства.

10. Аналіз системи планування.

Інноваційне планування – це система розрахунків, спрямована на вибір і обґрунтування цілей інноваційного розвитку організації і підготовку рішень для досягнення цих цілей. Інноваційне планування в організації має бути спрямоване на забезпечення єдності і гармонії в науковому, технічному, промисловому, економічному і соціальному розвитку.

11. Рівень конкурентоспроможності інноваційної продукції.

Визначення конкурентоспроможності інноваційної продукції здійснювалося методом розрахунку одиничних і групових показників, на основі яких визначається інтегральний показник конкурентоспроможності

$$К = \frac{Qc}{Qe}.$$

де Qc та Qe — зведені параметричні показники конкурентоспроможності за споживчими та економічними властивостями відповідно.

Економічний сенс інтегрального показника конкурентоспроможності полягає в тому, що на одиницю витрат споживач отримує К одиниць корисного ефекту. Якщо К > 1, то рівень якості вище рівня собівартості, а продукт

конкурентоспроможний, якщо К < 1 , то продукт не є конкурентоспроможним на цьому ринку [6].

12. Ефективність використання інтелектуального потенціалу.

Оцінка інтелектуального потенціалу компанії дозволяє сформувати справедливу вартість компанії.

Інтелектуальний потенціал – це його нематеріальні активи, які, приносячи дохід компанії і збільшуючи її ринкову вартість, не завжди відображаються в балансі.

В даний час рекомендується використовувати один з наступних методів оцінки інтелектуального капіталу організацій провідними фахівцями [5]:

метод прямого розрахунку інтелектуального капіталу (використовується оцінка вартості різних складових нематеріальних активів);

При визначенні інтелектуального потенціалу компанії враховуються наступні компоненти:

ІПК – інтелектуальний потенціал компанії;

ЛК –людський капітал;

ННА – нормативні нематеріальні активи;

ВКБ – вартість клієнтської бази;

ВБ - вартість бренду;

ВІК – вартість інформаційного капіталу;

ОУА – організаційно- управлінські активи;

ІА – інфраструктурні активи.

При проведені аналізу значення інтелектуального потенціалу підприємства визначалося за формулою:

$$\text{ІПК} = \text{ЛЧК} + \text{ННА} + \text{ВКБ} + \text{ВБ} + \text{ВІК} + \text{ОУА} + \text{ІА}$$

Людський капітал підприємства з *n* кількістю працівників оцінюється як

$$\text{ЛК} = \sum_{i=1}^{n} [\![(\text{ПВі} - \text{ВЗЗі} + \text{ВНЗі} + \gamma 3 \cdot \text{ВІі}]\!] + \text{ВЗНі})$$

ПВі – початкова вартість і-го співробітника;

ВЗЗі – вартість застарілих знань працівника, яка визначається за формулою

$$ВЗЗі = \gamma 1 \cdot ПВі$$

ВНЗі – вартість набутих знань працівника, яка визначається за формулою

$$ВНЗі = \gamma 2 \cdot ПВі$$

ВІі – вартість інвестицій в і-го співробітника;

ВЗНі – вартість неявних знань працівника, яка визначається за формулою

$$ВЗНі = \gamma 4 \cdot ПВі$$

γ1, γ2, γ3, γ4– вагові коефіцієнти, визначені експертними засобами [6].

Для оцінювання внутрішньої узгодженості сформованої системи показників доцільно використовувати коефіцієнт Кронбаха (α). Значення α≥0,7 свідчить про достатню надійність системи показників та можливість їх інтегрування в єдину модель інноваційної діяльності підприємства.

Результати та обговорення. Показники 7-9 якісні, їх використання, поряд з кількісними, робить оцінку інноваційної діяльності більш повною і всеосяжною. Такий поділ методів відповідає основним вимогам системного аналізу, які полягають в об'єднанні в моделях і методиках формальних і неформальних уявлень, що сприяє розробці методик, вибору методів поступової формалізації відображення і аналізу проблемної ситуації [7]. Якісні показники – це ті, які не мають певних одиниць виміру. Однак необхідно вимірювати їх рівень при інтеграції з кількісними показниками. Для кількісної оцінки якісних показників використовуються методи кваліметрії, найбільш поширеними з яких є методи мозкового штурму, сценаріїв, структурування (дерево цілей), а також методи експертних оцінок. Ось можлива шкала оцінок показників 7-11 в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівень Показник	-0,5	0	0,5	1
Доступність інформації, необхідної для реалізації ІД	Недоступна	Важкодоступна	Частково доступна	Доступна
Якість зв’язків управління ІД	Незадовільна	Задовільна	Добра	Відмінна
Аналіз системи планування	Незадовільна	Задовільна	Добра	Відмінна

Висновки. Так, серед численних критеріїв, які були запропоновані на сьогоднішній день для аналізу інноваційної діяльності різними авторами, у статті було обрано найбільш значущі з них методом основних компонентів на основі даних п'ятдесяти вітчизняних підприємств харчової промисловості, що дозволило зменшити розмір вибірки показників з мінімальними втратами інформації.

Література

1. OECD, Eurostat. Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. 4th ed. Paris: OECD Publishing, 2018. https://doi.org/10.1787/9789264304604-en
2. World Intellectual Property Organization (WIPO). Global Innovation Index 2024: Unlocking the Promise of Social Entrepreneurship. Geneva: WIPO, 2024.

3. European Commission. European Innovation Scoreboard 2024. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024.
4. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. Multivariate Data Analysis. 8th ed. Cengage Learning, 2019.
5. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. 2nd ed. Springer, 2021.
6. Jolliffe I.T., Cadima J. Principal Component Analysis: A Review and Recent Developments // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2016. Vol. 374. No. 2065. (Несмотря на год, это до сих пор основная обзорная работа по PCA.)
7. Field A. Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics. 6th ed. Sage Publications, 2024.
8. ISO 56002:2019. Innovation Management — Innovation Management System — Guidance. International Organization for Standardization, Geneva, 2019.

УДК 004.8:640.43

DOI

ШІ-АСИСТЕНТИ У ЦИФРОВІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Харенко Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент
Одеський національний економічний університет, Одеса, Україна
kharenko1980@gmail.com
Каламан Ольга Борисівна, доктор економічних наук, професор
Міжнародний університет, Одеса, Україна
kalaman.olga@gmail.com

***Анотація**. Досліджено напрями застосування асистентів на основі штучного інтелекту в системі управління підприємствами ресторанного бізнесу. Визначено можливості їхнього використання для аналізу продажів, прогнозування попиту, контролю витрат, оптимізації меню, персоналізації маркетингових комунікацій і підтримки управлінських рішень. Обґрунтовано необхідність стандартизації даних та операційних процедур як передумови результативного впровадження ШІ. Запропоновано процесну модель інтеграції ШІ-асистента в інформаційно-комунікаційну систему ресторанного підприємства.*

Цифрова трансформація ресторанного бізнесу поступово переходить від автоматизації окремих операцій до формування інтегрованого інформаційного середовища підприємства. POS-системи, CRM-платформи, цифрові меню,

складський і фінансовий облік, сервіси доставки та електронні канали комунікації генерують значні масиви даних. Проте сама наявність цифрової інформації не гарантує підвищення ефективності: вирішальне значення має здатність підприємства своєчасно її обробляти, виявляти відхилення, прогнозувати зміни та перетворювати результати аналізу на управлінські рішення [1-4]. Перспективним етапом розвитку такого середовища є впровадження ШІ-асистентів, здатних формулювати ефективні комунікації, опрацьовувати дані різних функціональних підсистем і формувати аналітичні висновки.

На стратегічному рівні ШІ може використовуватися для аналізу ринкових тенденцій, моделювання концепції закладу та оцінювання перспектив нових форматів обслуговування. На тактичному рівні він підтримує рішення щодо асортименту, ціноутворення, закупівель, графіків роботи персоналу й маркетингових стратегій. На операційному рівні відповідні технології забезпечують контроль продажів, залишків, списань, собівартості, швидкості обслуговування та дотримання встановлених стандартів [1; 2]. Основні напрями застосування ШІ-асистентів узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1 - Напрями застосування ШІ-асистентів у ресторанному бізнесі

Напрям управління	Функції ШІ-асистента	Очікуваний результат
Продажі та меню	Аналіз виручки, середнього чека, популярності, прибутковості позицій	Оптимізація асортименту, цін і структури продажів
Закупівлі та запаси	Контроль залишків, списань, закупівельних цін і фудкосту	Зниження втрат, собівартості та ризику дефіциту
Прогнозування	Аналіз історії продажів, сезонності й днів тижня	Точніше планування виручки, закупівель і персоналу
Маркетинг і гості	Сегментація, персоналізація пропозицій, аналіз відгуків	Зростання повторних відвідувань і лояльності
Фінанси й документи	Розпізнавання накладних, класифікація операцій, звітність	Скорочення ручної роботи та кількості помилок

Практичним прикладом розвитку цього напряму в Україні є Postie AI Assistant, інтегрований із системою автоматизації Poster. За описом розробника, асистент будує звіти за запитами природною мовою, аналізує чеки, закупівлі, транзакції та списання, контролює фудкост, прогнозує виторг, оцифровує накладні й імпортує банківські виписки [10]. Отже, інформаційна система переходить від переважно реєстраційної функції до аналітичної підтримки менеджменту. Водночас результативність такого рішення визначається функціональністю програмного продукту, якістю даних, рівнем інтеграції підсистем та готовністю персоналу змінювати процедури роботи.

Ключовою передумовою впровадження ШІ є стандартизація інформації та сервісних операцій. Якщо однакові операції реєструються по-різному,

технологічні карти не оновлюються, списання оформлюються із запізненням, а назви товарів і категорій не уніфіковано, автоматизований аналіз може бути формально правильним, але непридатним щодо управління. До об'єктів стандартизації доцільно віднести структуру номенклатури, правила заповнення технологічних і калькуляційних карт, процедури закупівель та списань, класифікацію каналів продажу, систему ключових показників, рівні доступу до даних і порядок перевірки рекомендацій ШІ [5-9].

З урахуванням процесного підходу авторами запропоновано модель інтеграції ШІ-асистента в систему управління ресторанним підприємством, наведену на рис. 1.

Рисунок 1 - Процесна модель інтеграції ШІ-асистента в систему управління ресторанним підприємством

Запропонована модель демонструє, що впровадження ШІ починається не з підключення окремого застосунку, а зі стандартизації даних і бізнес-процесів. Після інтеграції POS, CRM, складського та фінансового обліку формується структурована інформаційна база. ШІ-асистент аналізує показники, аномалії й тенденції, однак його рекомендації мають проходити експертну перевірку менеджером. Контроль наслідків рішення створює зворотний зв'язок, завдяки якому коригуються стандарти та забезпечується безперервне вдосконалення.

Застосування ШІ супроводжується ризиками: порушенням конфіденційності, помилками через недостовірні вихідні дані, технологічною залежністю від постачальника та некритичним виконанням рекомендацій системи. Тому доцільною є людиноцентрична модель, у якій ШІ виконує функції аналітичного помічника, а відповідальність за остаточне рішення залишається за менеджером. Оцінювання ефективності має охоплювати приріст виручки, скорочення часу підготовки звітів, точність прогнозів, зменшення

списань, стабілізацію фудкосту, оборотність запасів, середній чек і продуктивність управлінського персоналу.

Висновки. ШІ-асистенти формують новий етап цифрової трансформації ресторанного бізнесу, за якого інформаційні системи переходять від реєстрації операцій до підтримки управлінських рішень. Найбільший потенціал пов'язаний з аналізом продажів, прогнозуванням попиту, управлінням меню, контролем витрат, персоналізацією маркетингових комунікацій та автоматизацією документообігу. Результативність їхнього впровадження залежить від зрілості цифрової інфраструктури, якості даних і стандартизації бізнес-процесів. ШІ не замінює менеджера, але зменшує обсяг ручної роботи та посилює роль аналітичного оцінювання, сценарного моделювання і контролю результатів. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення системи показників економічної ефективності ШІ-асистентів для ресторанних підприємств різних форматів.

Література.

1. Харенко Д. О., Федосова К. С., Новічкова Т. Л. Аналіз ефективності впровадження технологій штучного інтелекту на етапі проєктування підприємств ресторанного бізнесу. Економіка та суспільство. 2025. № 74. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-135.
2. Харенко Д. О., Каламан О. Б., Федосова К. С. Інтеграція цифрових та комунікаційних технологій у систему операційного менеджменту ресторанного бізнесу. Економіка та суспільство. 2026. № 84. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-170.
3. Харенко Д. О., Каламан О. Б., Дикий П. Д. Digital-технології в інформаційно-комунікаційному управлінні бізнес-процесами підприємств ресторанного бізнесу. Інфраструктура ринку. 2026. № 88. С. 166–172. DOI: https://doi.org/10.32782/infrastruct88-25.
4. Харенко Д. О., Каламан О. Б., Федосова К. С. Теоретичні засади управління інформаційно-комунікаційними процесами ресторанних підприємств в умовах цифровізації. Інфраструктура ринку. 2026. № 89. С. 207–212. DOI: https://doi.org/10.32782/infrastruct89-32.
5. Харенко Д. О., Каламан О. Б., Федосова К. С. Діджиталізація внутрішніх комунікацій як чинник підвищення якості сервісу в ресторанному бізнесі. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2025. № 28. С. 298–305. DOI: https://doi.org/10.32782/2708-0366/2026.28.34.
6. Каламан О. Б., Харенко Д. О., Халілова-Чуваєва Ю. О. Імплементація діджитал-інструментів у систему маркетингових комунікацій підприємств готельно-ресторанного бізнесу. Український економічний часопис. 2026. № 13. DOI: https://doi.org/10.32782/2786-8273/2026-13-8.
7. Каламан О. Б., Харенко Д. О., Запорожець О. Ф. Цифровий менеджмент як чинник ефективності маркетингових комунікацій підприємств готельно-

ресторанного бізнесу. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2026. № 2 (120). DOI: https://doi.org/10.37734/2409-6873-2026-2-21.
8. Каламан О. Б., Ніколюк О. В., Харенко Д. О. Інтеграція менеджменту, маркетингових комунікацій і брендингу в умовах цифрової трансформації бізнесу. Збірник наукових праць Державного податкового університету. 2026. № 1. С. 62–68. DOI: https://doi.org/10.32782/2617-5940.1.2026.10.
9. Харенко Д. О., Каламан О. Б. Менеджмент якості послуг у ресторанному господарстві на основі процесного проєктування та стандартизації сервісних операцій. Актуальні напрями розвитку менеджменту: проблеми та рішення : монографія. Харків : Діса плюс, 2025. С. 177–195.
10. Poster. Postie AI Assistant: бізнес-аналітик та асистент для роботи з документами в Poster. URL: https://joinposter.com/ua/tour/addons/postie (дата звернення: 07.07.2026).

Інформаційне видання

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

Четвертої міжнародної конференції

«Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії»

Fourth International Conference

“Advanced Technology in Information and Communication Engineering”

(ATICE'2026)

16 липня 2026 року

Відповідальні за випуск: *Д. М. Розенвассер*, *Н. О. Пунченко*
Комп’ютерний набір і верстка *Н. О. Пунченко*
Редактор *Н. О. Пунченко*
Технічні редактори: *І. В. Новітська, Т. М. Стефанчишена*

Підп. до друку 31.08.2026 р. Об’єм електрон. даних 7,18 Мбайт.

Міжнародний університет м. Одеса
Фонтанська дорога 33, Одеса,