

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Багатокритеріальна оптимізація цифрових послуг розумного міста

Виконав: студент VI курсу, групи СНнм-61

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Лісовий Н.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кунанець Н.Е.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 13 » квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Лісовий Назар Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Багатокритеріальна оптимізація цифрових послуг розумного міста

Керівник роботи Кунанець Наталія Едуардівна, д.н.с.к., професор кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » березня 2026 року № 4/9-150

2. Термін подання студентом завершеної роботи 27 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо процесів багатокритеріальної оптимізації, цифрових послуг та розумних міст

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Аналітичний огляд публікацій та інформаційно-технологічні основи цифрових послуг «розумних міст». 2 Методологічні основи багатокритеріального прийняття рішень та інженерії ознак у системах цифрових послуг «розумних міст». 3 Методологія та результати багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг розумного міста. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.

4 Актуальність дослідження. 5 Узагальнена структура процесів оптимізації «розумного міста».

6 Відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

7 Інженерія ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

8 Критерії поточного процесу оптимізації. 9 Метод ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

10 Нормалізована матриця рішень. 11. Показники ентропії. 12 Показники диверсифікації. 13 Вагові коефіцієнти. 14 Методологія VIKOR.

15 Показники корисності S. 16 Розраховані значення корисності S та регресивна міра R. 17 Q-оцінка та ранжування альтернатив. 18 Висновки. 19 Завершальний слайд.

АНОТАЦІЯ

Багатокритеріальна оптимізація цифрових послуг розумного міста // Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «Магістр» // Лісовий Назар Володимирович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2026 // С. 71, рис. – 6, табл. – 10, кресл. – 19, додат. – 1, бібліогр. – 48.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, цифрові послуги, інженерія ознак, інформаційна ентропія, компромісне ранжування, прийняття рішень, розумне місто.

Кваліфікаційна робота присвячена багатокритеріальній оптимізації цифрових послуг розумного міста.

В першому розділі кваліфікаційної роботи подано опис концепту «Розумне місто». Розглянуто інформаційно-технологічні основи цифрових послуг. Проведено аналітичний огляд наукових публікацій в галузі цифрових послуг «розумних міст». В другому розділі кваліфікаційної роботи висвітлено процеси прийняття рішень для потреб цифрових послуг «розумного міста». Досліджено методології багатокритеріального прийняття рішень цифрових послуг «розумного міста». Обґрунтовано відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Описано інженерію ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Обґрунтовано вибір критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано використання методу ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Здійснено пріоритетизацію альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» за допомогою методології VIKOR. Виконано аналіз отриманих результатів.

ANNOTATION

Multi-criteria Optimization of Smart City Digital Services // The educational level "Master" qualification work // Nazar Lisovyi // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2026 // P. 71, fig. – 6, tables – 10, posters – 19, annexes – 1, ref. – 48.

Key words: multi-criteria optimization, digital services, feature engineering, information entropy, trade-off ranking, decision making, smart city.

The qualification thesis is devoted to the multi-criteria optimization of smart city digital services.

The first chapter of the qualification thesis provides a description of the "Smart City" concept. The information technology foundations of digital services are considered, and an analytical review of scientific publications in the field of smart city digital services is conducted. The second chapter highlights decision-making processes for the needs of smart city digital services. The methodologies of multi-criteria decision-making for smart city digital services are investigated. Furthermore, feature selection for the multi-criteria optimization of smart city digital services is substantiated, and feature engineering for the multi-criteria optimization of smart city digital services is described. The choice of optimization criteria for smart city digital services is justified.

The third chapter of the qualification thesis describes the application of the entropy method for the multi-criteria optimization of smart city digital services. The prioritization of alternatives for the multi-criteria optimization of smart city digital services is performed using the VIKOR methodology. Finally, an analysis of the obtained results is carried out.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

BI (англ. Business Intelligence) – бізнес-аналітика.

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

MCDM (англ. Multi-Criteria Decision-making Methodologies) – методологія багатокритеріального прийняття рішень.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання.

QoS (англ. Quality of Service) – якість обслуговування.

VIKOR (сербс. Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) – багатокритеріальна оптимізація та компромісне рішення.

ІКТ – інформаційні та комунікаційні технології.

ШІ – штучний інтелект.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ «РОЗУМНИХ МІСТ».....	11
1.1 Концепт «Розумне місто»	11
1.2 Інформаційно-технологічні основи цифрових послуг	14
1.3 Аналітичний огляд наукових публікацій в галузі цифрових послуг «розумних міст».....	16
1.4 Висновок до першого розділу	20
2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ІНЖЕНЕРІЇ ОЗНАК У СИСТЕМАХ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ «РОЗУМНИХ МІСТ».....	21
2.1 Процеси прийняття рішень для потреб цифрових послуг «розумного міста».....	21
2.2 Методології багатокритеріального прийняття рішень цифрових послуг «розумного міста»	23
2.3 Відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».....	26
2.4 Інженерія ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».....	28
2.5 Вибір критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста»	29
2.6 Висновок до другого розділу	30
3 МЕТОДОЛОГІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ РОЗУМНОГО МІСТА	31
3.1 Метод ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста»	31
3.1.1 Обчислювальна реалізація ентропійного підходу	32

3.2	Пріоритезація альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» за допомогою методології VIKOR.....	41
3.2.1	Опис методики VIKOR.....	41
3.2.2	Обчислювальна робота VIKOR для пріоритезації альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».....	43
3.2.3	Умови ранжування альтернатив оптимізації цифрових послуг «розумного міста».....	52
3.3	Аналіз отриманих результатів.....	55
3.4	Висновок до третього розділу	57
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
4.1	Психологічні та психофізіологічні чинники безпеки праці під час моделювання систем розумного міста	58
4.2	Організація безпечних умов праці під час розробки та моделювання цифрових послуг «розумного міста».....	62
4.3	Висновок до четвертого розділу	65
	ВИСНОВКИ.....	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	67
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкі процеси урбанізації та цифровізації сучасного суспільства зумовлюють необхідність докорінної трансформації систем муніципального управління на засадах концепції «розумного міста». Створення ефективної цифрової екосистеми передбачає інтеграцію великої кількості різнорідних сервісів – від інтелектуальних транспортних мереж до автоматизованих систем енергоменеджменту та людиноцентричних електронних послуг. Проте розгортання та масштабування таких цифрових платформ відбувається в умовах жорстких ресурсних, фінансових та часових обмежень, що висуває підвищені вимоги до обґрунтованості архітектурних та стратегічних рішень на етапі їхнього проектування та впровадження.

Актуальність дослідження посилюється тим, що оцінювання та вибір оптимальних конфігурацій цифрових послуг розумного міста є складною багатовимірною задачею, яка супроводжується наявністю великої кількості взаємопов'язаних, часто суперечливих та неспівмірних критеріїв. Класичні однофакторні підходи до оптимізації не спроможні повною мірою врахувати синергетичний ефект від взаємодії різних компонентів міської інфраструктури, а також баланс між соціальною задоволеністю громадян, екологічною сталістю та економічною доцільністю систем. Це зумовлює об'єктивну потребу в залученні сучасного математичного апарату теорії прийняття рішень та методів інженерії ознак для систематизації, відбору та агрегування значущих параметрів урбаністичних екосистем.

У цьому контексті розробка та впровадження інтегрованих моделей багатокритеріального аналізу, набуває науково-практичного значення. Застосування таких методів дає змогу нівелювати суб'єктивізм при визначенні вагових коефіцієнтів критеріїв та ідентифікувати найбільш раціональні компромісні варіанти розвитку цифрових сервісів з мінімальним рівнем індивідуального жалю. Таким чином, науковий пошук, спрямований на створення методологічного інструментарію багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста», є своєчасним і затребуваним для

забезпечення прозорості, сталості та операційної ефективності довгострокового муніципального планування в Україні і є актуальним напрямком сучасних наукових досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є розробка та обґрунтування науково-методичного інструментарію багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг розумного міста для підвищення операційної ефективності та сталості муніципального управління в умовах суперечливих критеріїв. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати сучасний стан, інформаційно-технологічні тренди та наявні наукові підходи до формування й оцінювання цифрових сервісів у концепції «Розумне місто».

- Обґрунтувати методологічні засади багатокритеріального прийняття рішень та інженерії ознак для систем цифрових послуг розумного міста.

- Сформувати репрезентативну систему локальних критеріїв оптимізації та виконати процедуру відбору найбільш значущих атрибутів.

- Розробити та обчислити ентропійну модель для об'єктивного визначення вагових коефіцієнтів обраних критеріїв.

- Провести багатокритеріальну пріоритезацію альтернативних варіантів цифрових послуг та здійснити комплексний аналіз отриманих рішень.

Об'єкт дослідження процес багатокритеріального оцінювання, вибору та оптимізації функціональних конфігурацій цифрових послуг у гетерогенному інформаційно-технологічному середовищі «розумного міста».

Предмет дослідження. моделі, гібридні методи багатовимірного аналізу даних та алгоритми, що використовуються для формування простору критеріїв, визначення їхньої значущості та оптимізації процесів прийняття рішень у системах цифрових послуг «розумного міста».

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні та вирішенні актуальної науково-практичної задачі щодо підвищення ефективності управління міськими екосистемами

шляхом розробки комплексного двоетапного математичного інструментарію багатокритеріального аналізу та оптимізації цифрових послуг розумного міста.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені моделі, алгоритми та прикладний інструментарій безпосередньо орієнтовані на цифровізацію міського середовища і можуть бути впроваджені в реальний сектор муніципального управління.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на:

– XI міжнародній науково-практичній конференції Молодих учених та студентів, (м. Тернопіль, 2022 р.).

– X науково-технічної конфції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (м. Тернопіль, 2022 р.).

– VI Міжнародній студентській науково - технічній конференції. Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, (м. Тернопіль, 2023 р.).

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у чотирьох працях конференції (Див. додатки А).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 48 найменувань та одного додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 71 сторінки, з них 47 сторінки основного тексту, який містить 6 рисунків та 10 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ «РОЗУМНИХ МІСТ»

1.1 Концепт «Розумне місто»

«Розумне місто» – це місто, яке має на меті досягнення цілей сталого економічного, екологічного та соціального розвитку [1] та підвищення рівня добробуту своїх жителів.

Сенсори формують технологічний базис функціонування «розумного міста», забезпечуючи збір даних та їх передачу для подальшої обробки [2]. Хоча для цієї мети можуть використовуватися хмарні обчислення, іншою альтернативою є делегування цих завдань пристроям периферійних обчислень («edge computing») через туманні обчислення («fog computing»), що забезпечує такі переваги, як зниження енергоспоживання, підвищення рівня безпеки та зменшення витрат на технічне обслуговування [3]. Незалежно від обраного підходу, «розумні міста» використовують сенсори для моніторингу різних параметрів [4], зокрема:

- якості повітря і води;
- споживання енергії;
- інтенсивності дорожнього руху.

У міру трансформації міст у «розумні міста», ефективне використання даних у різних секторах стає критично важливим для забезпечення міжвідомчої співпраці, прийняття якісніших рішень та вдосконалення міських служб, як от транспортні системи та сервіси екологічної сталості [5]. Це підкреслює необхідність застосування сучасних технологій для ефективного управління цими даними [6].

Комунікація є невід’ємною умовою функціонування «розумних міст», де технологія IoT сприяє інтеграції різноманітних міських систем, включаючи транспортні мережі [7]. Очікується, що ефективність збору даних за допомогою IoT досягне свого піка з появою технологій 5G та 6G, що робить розробку інтелектуальних мереж на базі IoT вирішальною для зростання «розумного

міста» [8]. Крім того, кіберфізичні системи підвищують інтелектуальність у таких сферах, як «розумний» транспорт, тоді як периферійні технології покращують зв'язність інтелектуальних пристроїв [9]. «Розумні міста» також залучають цифрові інформаційні технології для більш інтелектуального вдосконалення міського управління та послуг [10]. Ці покращення охоплюють «розумну» інфраструктуру, публічні послуги, промислові системи, інтеграцію ресурсів, безпеку та людський розвиток. Як наслідок, міста можуть досягти науково обґрунтованого розвитку, ефективного менеджменту та покращення якості життя своїх громадян. Мережева інфраструктура та цифрові технології, що застосовуються при побудові «розумних міст», також стимулюють зростання галузей сфери послуг, як от інформаційні послуги, розробка програмного забезпечення та бізнес-послуги [11].

Суб'єкти формування міської політики часто розглядають інтеграцію ІКТ у міське планування та управління як ефективну стратегію підвищення інтелектуального рівня міст [12].

Яскравими прикладами таких технологічних досягнень [13] є:

- система «Vehicle2Grid» в Амстердамі, яка зберігає локально вироблену енергію в акумуляторах електромобілів;
- «Datastore» в Лондоні, що акумулює метадані, аналітичні коментарі та візуалізації з різних джерел;
- проект «Lowline» в Нью-Йорку – підземний парк, що працює на сонячній енергії;
- а також «5G-екосистема» в Еспоо (Фінляндія), яка забезпечує надшвидкісне інтернет-з'єднання.

Різноманітні технології відіграють вирішальну роль у створенні та розвитку «розумних міст», безпосередньо впливаючи на міське управління, підвищуючи якість життя громадян та збільшуючи продуктивність. Однією з ключових технологій у цьому контексті є Інтернет речей (IoT) [14], який забезпечує зв'язність і комунікацію пристроїв та сенсорів, полегшуючи збір життєво важливих даних з різних секторів міста, включаючи транспорт, енергетику та довкілля. Ці дані можуть допомогти муніципалітетам та міським

планувальникам приймати обґрунтованіші рішення. Передові телекомунікаційні технології, як от 5G та 6G, забезпечують необхідну пропускну здатність для швидкої передачі даних, розширюючи можливості комунікації в режимі реального часу. ШІ також робить свій внесок, аналізуючи дані та приймаючи інтелектуальні рішення для оптимізації публічних послуг, як от управління дорожнім рухом, розподіл енергії та безпека [15]. Наприклад, «розумні» транспортні системи можуть використовувати дані, зібрані з датчиків, для покращення транспортних потоків та зменшення заторів. Крім того, технологія блокчейн відіграє важливу роль у забезпеченні прозорості та безпеки управління даними й цифрових транзакцій, зокрема у фінансових системах та сфері надання державних послуг. Кіберфізичні системи (CPS) та периферійні обчислення також підвищують ефективність мереж та інфраструктури за рахунок локальної обробки даних, що призводить до зниження затримок («latency») та покращення користувацького досвіду.

Іншим важливим аспектом технологізації «розумних міст» є використання систем бізнес-аналітики ВІ. ВІ охоплює широкий спектр аналітичного програмного забезпечення та рішень, призначених для збору, консолідації, аналізу та подання інформації. Головною метою ВІ є надання бізнес-користувачам можливості приймати обґрунтовані рішення на основі релевантних аналітичних висновків [16]. Трансформуючи складні внутрішні та конкурентні дані у доступні формати, інструменти ВІ полегшують стратегічне планування та прийняття рішень для внутрішніх зацікавлених сторін. Впровадження ВІ-рішень спрямоване на підвищення загальної ефективності діяльності за рахунок надання організаціям можливості виявляти тренди, знаходити нові можливості та оптимізувати операційні процеси. Ці технології допомагають міським організаціям та органам влади виділяти практичні та стратегічні інсайти із зібраних масивів даних. Аналізуючи цю інформацію, особи, які приймають рішення, можуть ідентифікувати наявні тенденції та закономірності, що веде до підвищення ефективності публічних послуг, оптимального розподілу ресурсів та «розумнішого» міського планування. Впровадження інноваційних технологій та систем бізнес-аналітики в «розумних

містах» закладає основу для сталого розвитку та створення інтелектуальних і ефективних міських середовищ.

1.2 Інформаційно-технологічні основи цифрових послуг

Розвиток сучасних урбаністичних систем вимагає безперервної цифрової трансформації для ефективного реагування на виклики глобальної урбанізації та формування сталого міського середовища [17]. Процес проектування та розгортання цифрових послуг у «розумних містах» потребує впровадження виваженого математичного підходу, спроможного забезпечити баланс між капіталомістким оновленням інфраструктури та операційними технологічними досягненнями [18]. Динамічний поступ людства безпосередньо корелює з рівнем автоматизації міського простору [19]. Сучасні концепції «розумних міст» спрямовані на гармонізацію соціальних, економічних та екологічних факторів через призму оптимізації базової ІТ-інфраструктури та сервіс-орієнтованих платформ [20]. Для реалізації масштабних цифрових екосистем світові технологічні лідери, зокрема IBM та CISCO, використовують складні багаторівневі сервісні архітектури, які закладають підґрунтя для централізованого збору інформації та подальшого аналізу міських процесів.

Технологічний стек та генерація даних «розумних міст». Цифрова архітектура «розумного міста» інтегрує передові інструменти моніторингу та менеджменту, які дають можливість муніципальним органам здійснювати оперативне керування ключовими компонентами міської життєдіяльності: транспортними потоками, системами енергоспоживання, екологічним моніторингом (якістю повітря і води) та динамікою надання публічних послуг [21]. Функціонування таких систем безпосередньо пов'язане з генерацією гетерогенних масивів великих за обсягом наборів та колекцій даних «Big Data». Аналітичні висновки, отримані в результаті обробки цих даних, трансформують класичні принципи муніципального менеджменту, перетворюючи їх на гнучкі, адаптивні та оптимізовані сервіси прийняття рішень [22].

Важливу роль у цифровій трансформації відіграє синергія Інтернету речей (IoT) та телекомунікаційних мереж п'ятого покоління (5G), які забезпечують високошвидкісну передачу інформації та збір телеметрії в режимі реального часу [23]. Обробка накопичених масивів даних покладається на ШІ та ML, що уможлиблює інтелектуальну автоматизацію, прогностичне обслуговування інфраструктурних об'єктів та динамічне управління дорожнім рухом [24].

Геопросторова інфраструктура та концепція IoT. Сучасне міське планування та раціональний розподіл ресурсів спираються на геоінформаційні системи (ГІС) та хмарні картографічні інструменти [24]. Інтелектуальні мережі управління енергією, технології підключеного («Connected Vehicles») та автономного транспорту формують поточну структуру цифрових послуг «розумних міст» [25]. Конвергенція сенсорних мереж, хмарних обчислень та аналітичних інструментів дає змогу створювати інноваційні людиноцентризовані сервіси, які оперативно адаптуються до мінливих потреб міського населення й оптимізують завантаженість інфраструктури [26].

Багатокритеріальний підхід до типізації міських систем. У межах комплексних досліджень та міжнародних проєктів «розумних міст» виокремлюють ключові функціональні вектори оптимізації [27]:

- «розумна» економіка;
- «розумна» мобільність;
- «розумне» довкілля;
- «розумне» життя;
- «розумне» урядування;
- управління «Smart Governance».

Еволюція концепції від «екологічного» до «інтелектуального» та «інноваційного» міста відображає зсув фокусу до використання даних із сенсорів у режимі реального часу та мобілізації творчого людського капіталу для генерації знань [28]. Оптимальне управління міськими активами, системами землекористування та правовими базами є базисом для сталого соціоекономічного зростання [29].

Багатокритеріальна оптимізація та технології цифрових двійників. Трансформаційний потенціал у сфері оптимізації цифрових послуг належить технології міських цифрових двійників («Urban Digital Twins») [30]. Інтеграція потоків даних у режимі реального часу з віртуальними моделями дає можливість суттєво вдосконалити процеси прийняття рішень. Оскільки муніципальні проєкти характеризуються наявністю великої кількості конфліктуючих цілей, для їх оцінювання та пріоритезації застосовують структуровані методології багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) [30]. Зокрема, інтегрований підхід на основі методів ентропії («Entropy Method») для об'єктивного визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та VIKOR для пошуку компромісного ранжування альтернатив забезпечує збалансовану оцінку ефективності цифрових сервісів.

У межах реалізації MCDM-моделей критично важливим етапом є інженерія та відбір ознак («Feature Engineering»/«Feature Selection»). Цей підхід дає можливість очистити масивні набори вхідних даних від надлишковості та виділити найбільш релевантні й інформативні атрибути. Оптимізація ознак безпосередньо впливає на точність прогнозних моделей, знижує обчислювальну складність алгоритмів і гарантує ефективність розподілу ресурсів у міському середовищі.

Таким чином, впровадження сталих практик і забезпечення стійкості («resilience») інфраструктури «розумних міст» створює надійний науково-методологічний фундамент для підвищення якості надання цифрових послуг та довгострокового урбаністичного розвитку [30].

1.3 Аналітичний огляд наукових публікацій в галузі цифрових послуг «розумних міст»

Інтернет речей (IoT), який інтегрує мільярди гетерогенних пристроїв, виступає базовим інфраструктурним рівнем для збору та аналізу первинних даних у режимі реального часу [31]. У контексті багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» впровадження IoT-рішень дає змогу

максимізувати параметри енергоефективності, мінімізувати затримки в мережі та покращити функціональні метрики надання муніципальних послуг [32]. Оцінювання IoT-інфраструктури, зокрема інтелектуальних транспортних систем та автоматизованих мереж енергоспоживання, вимагає моделювання компромісних рішень для одночасного зниження експлуатаційних витрат та підвищення пропускної здатності міських сервісів. Застосування сенсорних мереж формує адаптивне інформаційне середовище, що підвищує об'єктивність прийняття рішень та оптимізує інтегральні критерії стійкості («resilience»), безпеки та екологічності цифрового простору [33].

Процес оптимізації доступу до сервісів міської інфраструктури, зокрема, туристично-екскурсійних та рекреаційних маршрутів за допомогою цифрових платформ є типовою багатокритеріальною задачею, що потребує збалансування факторів економічної ефективності, мінімізації часу обслуговування та зниження екологічного навантаження. Для її розв'язання залучається передовий стек технологій [30]:

- штучний інтелект (ШІ);
- аналітичне опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій даних «Big Data»;
- машинне навчання (ML);
- та інтелектуальні інформаційні сервіси «smart components».

Методи машинного навчання використовуються як прогностичні моделі для оцінювання зносу інфраструктурних об'єктів та моніторингу стану фізичних активів під впливом дестабілізуючих факторів середовища, що дає можливість оптимізувати витрати на планово-попереджувальні ремонти. Оцифрування міських реєстрів та створення хмарних сховищ забезпечує безперервну доступність даних. Інтеграція алгоритмів ШІ та методів інтелектуального аналізу у функціональні сервіси трансформує класичні підходи до управління, стимулюючи інноваційність, доступність та максимізацію цільових функцій корисності за обмежених муніципальних ресурсів [34]. При цьому фактор екологічної та соціальної сталості розглядається як один із ключових

обмежувальних критеріїв у загальній оптимізаційній моделі «розумного міста» [35].

Для забезпечення цілісності, прозорості та стійкості інформаційних потоків у багатокритеріальних моделях цифрових послуг обґрунтованим є впровадження технології блокчейн [36]. Застосування децентралізованих реєстрів дає змогу оптимізувати рівень безпеки та захисту даних, формуючи верифікований та придатний для аудиту слід інформації в ході міжсекторальної взаємодії IoT-пристроїв. Стандартизація протоколів взаємосумісності (interoperability) виступає важливим критерієм мінімізації обчислювальних витрат при інтеграції різнорідних сервісів. Використання смартконтрактів у поєднанні з технологіями інформаційного моделювання (BIM) та IoT дає можливість автоматизувати робочі процеси, знизити транзакційні витрати та забезпечити динамічне надходження даних у режимі реального часу для систем підтримки прийняття рішень [37].

Методи машинного навчання відіграють вирішальну роль у виявленні прихованих часових і просторових шаблонів функціонування міського середовища, пов'язуючи цифрові параметри сервісів із фізичними показниками міських зон [38]. Інтеграція просторово-часових вимірів надає можливість формалізувати критерії оптимізації динамічних послуг. Наприклад, аналіз геоприв'язаних даних із соціальних мереж і мобільних платформ, які виступають цифровими слідами соціопросторовільної активності, дає алгоритмам машинного навчання змогу трансформувати слабоструктуровані сигнали у змістовні моделі поведінки користувачів. Отримані великі міські дані («Big Urban Data») використовуються для багатокритеріального аналізу соціальної зв'язності («social connectivity») та оптимізації топології розміщення міських цифрових сервісів з метою максимального задоволення попиту населення [39].

Комплексна архітектурна платформа для оптимізації та візуалізації роботи цифрових послуг інтегрує рівні:

- збору даних;
- хмарного опрацювання;
- користувацьких інтерфейсів.

Для мінімізації енергоспоживання на фізичному рівні архітектури використовуються енергоефективні сенсорні вузли з тривалим життєвим циклом, що функціонують на базі бездротових технологій великого радіуса дії (LoRa, Sigfox). Це підвищує гнучкість розгортання системи в різних експлуатаційних умовах – від відкритих міських просторів до закритих приміщень і галерей. Важливими критеріями оптимізації на рівні кінцевого користувача є ергономічність та швидкість відгуку інтерфейсів, що реалізується через адаптивні аналітичні панелі (дашборди). Інтеграція складних прогностичних моделей у хмарну інфраструктуру дає змогу мінімізувати ризики збоїв у наданні послуг та динамічно перерозподіляти обчислювальні й енергетичні ресурси на основі аналізу трендів [40]. Базова архітектура багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумних міст» подана на рисунку 1.1.

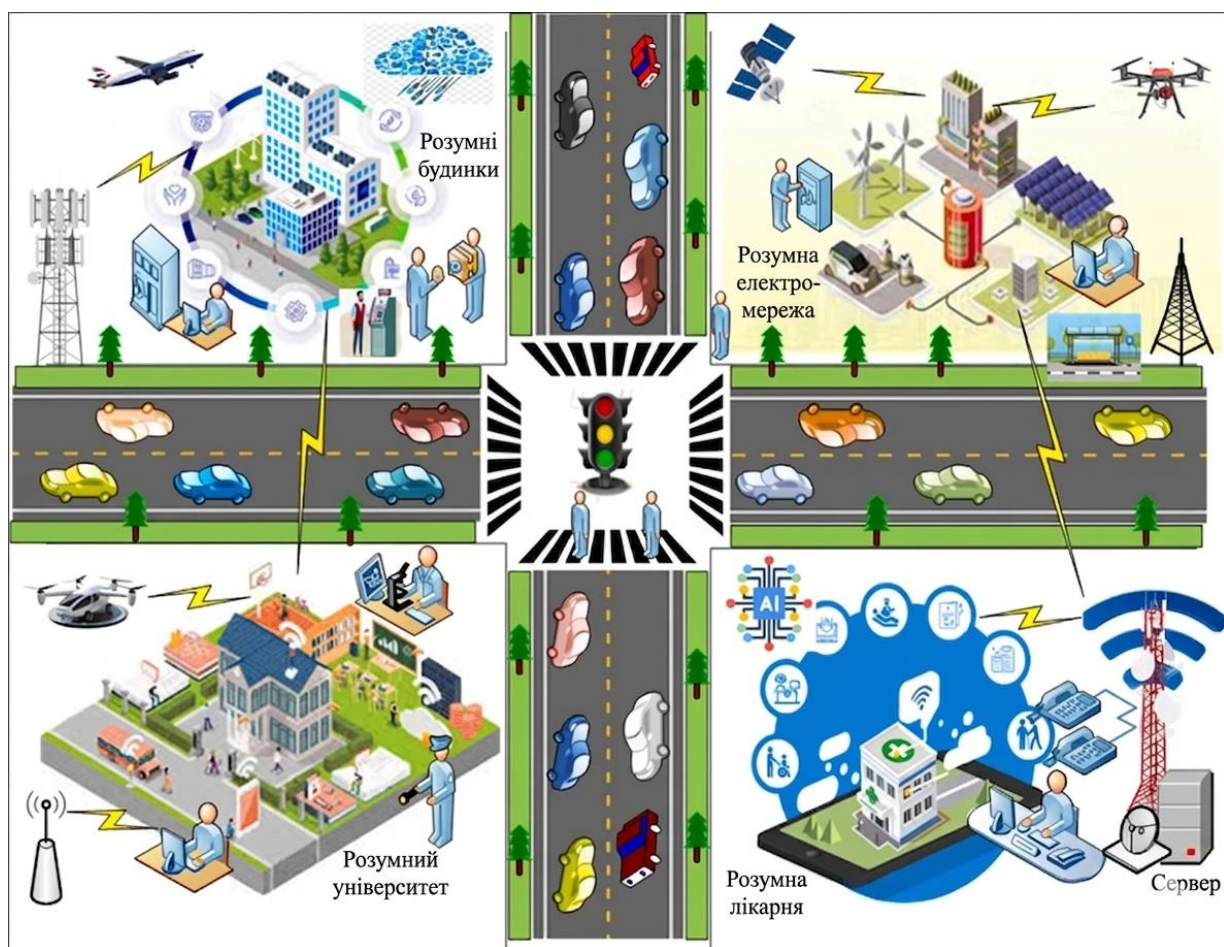


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура процесів оптимізації «розумного міста» [30]

Підсумовуючи, попри те, що архітектура та функціональний стек технологій «розумного міста» досягли значного прогресу, все ще залишається низка науково-практичних завдань, пов'язаних із комплексним оцінюванням та оптимізацією їхньої взаємодії за умов конфліктуючих критеріїв. Серед ключових викликів – забезпечення масштабованості алгоритмів прийняття рішень та досягнення повної взаємосумісності «interoperability» гетерогенних інформаційних систем у великих «розумних» міських середовищах [30]. Крім того, критичним аспектом оптимізації децентралізованих сервісів є дотримання компромісу між обчислювальною ефективністю, приватністю та безпекою даних. Наявний суттєвий брак довгострокових емпіричних досліджень, спрямованих на багатокритеріальне оцінювання екологічного впливу та загальної сталості цифрових послуг, зокрема спеціалізованих сервісів у сферах інфраструктурного моніторингу та інформаційних платформ. Значна частина сучасних наукових праць обмежена теоретичними викладками або локальними обчислювальними експериментами на базі невеликих вибірок даних. Натомість існує гостра потреба в реальних практичних впровадженнях та апробації комплексних оптимізаційних моделей (зокрема, інтегрованих підходів MCDM), які б верифікували ефективність розподілу ресурсів та надання цифрових послуг у різноманітних багатовимірних міських сценаріях.

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» подано опис концепту «Розумне місто». Розглянуто інформаційно-технологічні основи цифрових послуг. Проведено аналітичний огляд наукових публікацій в галузі цифрових послуг «розумних міст».

2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ІНЖЕНЕРІЇ ОЗНАК У СИСТЕМАХ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ «РОЗУМНИХ МІСТ»

2.1 Процеси прийняття рішень для потреб цифрових послуг «розумного міста»

Процедури багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) є фундаментальним математичним та алгоритмічним апаратом, що забезпечує збір, обробку та формалізований аналіз гетерогенної інформації для здійснення оптимального вибору конфігурації цифрових сервісів [41]. У межах прикладних оптимізаційних задач формалізація прийняття рішень є критично важливою для:

- динамічного розподілу обчислювальних ресурсів, управління ризиками;
- максимізації показників якості обслуговування (QoS);
- досягнення встановлених цільових функцій системи.

Використання моделей MCDM дає можливість ефективно декомпонувати складні багатofакторні процеси з великою кількістю конфліктуючих змінних, полегшуючи пошук Парето-оптимальних векторів. Особливу актуальність цей базис має в екосистемах «розумних міст», де інтегруються передові ІКТ та інструменти інтелектуального управління. Висока інтенсивність надходження телеметричних даних від сенсорних мереж та IoT-пристроїв потребує автоматизованого розрахунку компромісних рішень для підвищення ефективності муніципальних інформаційних платформ. Алгоритми прийняття рішень координують моніторинг у режимі реального часу та перерозподіл потужностей, сприяючи забезпеченню системної сталості та мінімізації витрат. Вони також виступають інструментом координації цифрових сервісів у міському плануванні, гарантуючи створення стійких та адаптивних міських середовищ. Автоматизоване прийняття рішень є ключовим компонентом оптимізації функціонування медичних інформаційних систем, логістичних маршрутів, комплексів громадської безпеки та інших життєво важливих цифрових послуг. Впроваджуючи кількісні індекси екологічності та ресурсоощадності,

математичні моделі безпосередньо впливають на експлуатаційні параметри ініціатив «розумних міст» та керують динамічними процесами в складних інфраструктурних підсистемах, зокрема, «розумних» енергомережах «smart grids» та інтелектуальних транспортних системах [42]. Завдяки поєднанню методів інтелектуального аналізу великих за обсягом наборів і колекцій даних «Data Mining» та прогностичного моделювання, багатокритеріальна оптимізація в «розумних містах» надає можливість реалізовувати проактивні сценарії усунення критичних навантажень та відмов у наданні цифрових послуг.

Сучасні платформи «розумних міст» використовують стратегічні та обчислювально ефективні підходи до багатокритеріального прийняття рішень для подолання структурних викликів. Однією з першочергових архітектурних задач є оптимізація пропускнуєї спроможності каналів зв'язку та використання результатів аналізу даних у режимі реального часу для збалансованого розподілу навантажень між комунальними, транспортними та державними цифровими сервісами. Це мінімізує надлишковість даних та підвищує операційну ефективність міської IT-інфраструктури. У міському плануванні та розвитку інфраструктури математичні моделі прийняття рішень оцінюють сукупність альтернатив, параметри землекористування та топологію транспортних рішень, забезпечуючи створення адаптивних цифрових просторів. Інтелектуалізація алгоритмів вибору дає змогу мінімізувати затримки в системах управління дорожнім рухом, знизити мережеву неефективність та оптимізувати роботу сталого транспорту. Забезпечення високої якості обслуговування (QoS) та підвищення рівня задоволеності користувачів досягається шляхом впровадження аналітичне опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій даних, що уможливорює оперативне покриття потреб жителів за одночасного дотримання екологічних критеріїв [42]. Ризики та загрози кібербезпеці, а також завдання забезпечення приватності даних вирішуються за допомогою інтеграції у загальну багатокритеріальну модель надійних криптографічних засобів кіберзахисту та децентралізованих технологій збереження конфіденційності. Інструменти прогностичної аналітики дають можливість ідентифікувати нові експлуатаційні тенденції та адаптувати під них архітектуру сервісів, підвищуючи

стійкість («resilience») міста. Крім того, цифрові сервіси спільного управління та партисипативні моделі надають можливість формалізувати у вигляді критеріїв оптимізації різноманітні потреби та перспективи користувачів. Таким чином, впровадження методів багатокритеріальної оптимізації прийняття рішень у «розумних містах» являє собою комплексний та стратегічний підхід до формування гнучких, ефективних та людиноцентрованих цифрових міських послуг [30].

2.2 Методології багатокритеріального прийняття рішень цифрових послуг «розумного міста»

Методології багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) відіграють вирішальну роль у моделюванні, оцінюванні та пріоритезації архітектурних рішень для розгортання цифрових послуг «розумного міста», які охоплюють різноманітні й взаємозалежні техніко-економічні фактори: інтеграцію даних, моніторинг у режимі реального часу, прогностичну аналітику, системну сталість та оптимізацію інфраструктурних ресурсів. Враховуючи високу обчислювальну складність та гетерогенність екосистем «розумних міст», у дослідженні [30] застосовано структурований підхід MCDM, що інтегрує метод ентропії «Entropy Method» та метод VIKOR для забезпечення об'єктивного визначення вагових коефіцієнтів критеріїв оптимізації та систематичного компромісного ранжування альтернативних варіантів надання послуг. Метод ентропії використовується для математичного розрахунку відносної важливості кожного критерію на основі мінливості й дисперсії вхідних даних, що гарантує систематичний та неупереджений розподіл ваг без залучення суб'єктивних експертних суджень. Аналізуючи інформаційну ентропію матриці рішень, цей метод об'єктивно присвоює вищі ваги більш інформативним критеріям, що робить його математично адаптованим для масштабних оцінювань цифрових сервісів, де задіяні динамічні масиви великих за обсягом наборів та колекцій даних, які постійно змінюються. Після етапу зважування застосовується алгоритм VIKOR для ранжування альтернативних конфігурацій цифрових

послуг з одночасним балансуванням компромісів між суперечливими цільовими функціями, як от технологічна взаємосумісність, сталість та системна стійкість. VIKOR дає змогу визначити математично обґрунтоване компромісне рішення шляхом розрахунку індексів корисності та «регресивної міри» – максимального незадоволення, гарантуючи, що фінальний рейтинг враховує як глобальну ефективність функціонування сервісу, так і мінімізацію ризиків у найгірших сценаріях. Таке цілісне оцінювання є критично важливим для багатокритеріальної оптимізації цифрової інфраструктури, де пріоритетність впровадження ініціатив має визначатися на основі суворих кількісних метрик.

На відміну від альтернативних методів MCDM [30], запропонований гібридний підхід на основі ентропії та VIKOR формує формалізовану, керовану даними математичну платформу, яка повністю нівелює суб'єктивізм у процесах прийняття рішень. Ентропійний аналіз присвоює об'єктивізовані ваги критеріям на основі їхньої внутрішньої мінливості, забезпечуючи систематичний розподіл важливості між технічними та експлуатаційними параметрами цифрових послуг. Це усуває залежність від експертних оцінок, роблячи оптимізаційну модель стійкою, прозорою та придатною для алгоритмізації в межах систем міського управління. Метод VIKOR вдосконалює оптимізаційний процес, ранжуючи архітектурні альтернативи за багатокритеріальним вектором корисності і регресивної міри, що дає можливість знайти математичний компроміс між такими конфліктуєчими цілями, як мінімізація обчислювальних і капітальних витрат, забезпечення екологічної сталості та максимізація QoS. Визначаючи оптимальний за Парето компромісний варіант, VIKOR гарантує, що обрана конфігурація послуги відповідає глобальним стратегічним критеріям розвитку «розумного міста», ефективно мінімізуючи відхилення від ідеальної точки. Інтеграція методів ентропії та VIKOR робить дослідження [30] ефективним інструментом для декомпозиції складних урбаністичних систем, де необхідно одночасно аналізувати множину взаємозалежних критеріїв. Зазначений підхід оптимізує процедури прийняття рішень, підвищує прозорість та узгодженість розподілу ресурсів, а також надає розробникам цифрових платформ надійний

математичний апарат для комплексної оптимізації функціонування сервісів «розумних міст».

Здатність підходів до багатокритеріального прийняття рішень (MCDM), зокрема інтегрованих методів ентропії та VIKOR, враховувати різні цільові функції робить їх незамінним математичним апаратом для оптимізації складних багатовимірних систем у середовищі «розумних міст». У процесі проектування цифрових послуг постійно виникає задача оцінювання множини взаємовиключних та конфліктуючих критеріїв, наприклад, максимізація якості обслуговування QoS при мінімізації обчислювальних затримок та витрат енергії. Для розв'язання цієї задачі інструменти MCDM є необхідними при аналізі архітектурних альтернатив, а формалізовані оптимізаційні принципи – при виборі найкращої конфігурації сервісу. Метод ентропії та техніка VIKOR є комплементарними підходами у складних сценаріях багатокритеріального аналізу. Їхня функціональна відмінність полягає в математичних алгоритмах: перший спрямований на об'єктивне визначення вагових коефіцієнтів критеріїв, а другий – на компромісне ранжування альтернативних варіантів цифрових послуг. Попри різні обчислювальні завдання, у межах єдиної оптимізаційної моделі вони ефективно координують етапи зважування параметрів та пріоритезації рішень.

Ентропійний підхід застосовується як аналітичний інструмент розрахунку об'єктивних ваг, який базується на мірі невизначеності та мінливості масивів телеметрії за кожним із вибраних критеріїв. Натомість метод VIKOR генерує для системи підтримки прийняття рішень Парето-оптимальний компромісний варіант, що максимізує групову корисність та мінімізує індивідуальну «регресивну міру». Вибір конкретного алгоритму детермінується поточним етапом оптимізаційного процесу. Якщо першочерговою метою є нормалізація простору ознак та оцінка інформативності критеріїв за характеристиками вхідних даних, залучається метод ентропії. Коли ж необхідно здійснити фінальний вибір конфігурації цифрової послуги на основі знаходження компромісу між антагоністичними інфраструктурними та експлуатаційними факторами, VIKOR забезпечує стійку систему ранжування. Найвищу

ефективність при оптимізації цифрових сервісів «розумного міста» демонструє саме послідовна інтеграція цих підходів у межах гібридного фреймворку, де вагові коефіцієнти критеріїв розраховуються на основі інформаційної ентропії, а подальший пошук оптимального компромісного рішення реалізується за допомогою алгоритму VIKOR [30].

2.3 Відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Відбір ознак («Feature selection») має вирішальне значення для успішного моделювання та багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста», оскільки він надає можливість ідентифікувати та виділяти найбільш релевантні змінні й інформативні атрибути з надлишкових масивів великих за обсягом наборів та колекцій даних, що генеруються міськими сенсорними мережами та IoT-платформами [30]. Цей стратегічний етап гарантує, що обрані для аналізу ознаки мають високу дискримінаційну здатність для мінімізації цільових функцій витрат та максимізації QoS. У динамічному середовищі «розумних міст» відбір ознак відіграє ключову роль в оптимізації розподілу обчислювальних та інфраструктурних ресурсів шляхом визначення найбільш впливових параметрів функціонування:

- транспортних систем;
- енергомереж;
- муніципальних сервісів.

Таке формалізоване прийняття рішень підвищує точність і надійність алгоритмів у системах підтримки прийняття рішень (DSS) міського управління.

Щоб забезпечити стійкість процесу відбору ознак та мінімізувати мультиколінеарність, надлишковість або взаємне перекриття між обраними критеріями оптимізації, у дослідженні [30] використовується підхід до зважування на основі інформаційної ентропії, який враховує дисперсію даних та взаємозалежність між ознаками. Метод ентропії оцінює міру невизначеності та розподілу інформації по всьому набору даних, гарантуючи, що

висококорельовані або малоінформативні критерії отримують менші вагові коефіцієнти, тим самим знижуючи їхній дестабілізуючий вплив на фінальний вибір. Після етапу об'єктивного зважування застосовується багатокритеріальна техніка VIKOR для компромісного ранжування та пріоритезації архітектурних альтернатив цифрових послуг з одночасним балансуванням декількох суперечливих цілей, що запобігає непропорційному зсуву результату під впливом окремого домінуючого критерію. Така структурована методологія MCDM гарантує, що лише ортогональні та найбільш значущі критерії беруть участь в оптимізаційному оцінюванні ініціатив «розумного міста».

Оскільки ефективність цифрових послуг у «розумних містах» все більше залежить від моделей машинного навчання (ML) та прогностичної аналітики, відбір ознак стає першочерговим фактором зниження розмірності простору параметрів та запобігання перенавчанню «overfitting» алгоритмів. Ретельна фільтрація ознак суттєво підвищує точність, збіжність та швидкість роботи ML-моделей при вирішенні прикладних задач міського прогнозування. Аналіз фундаментальних досліджень у виданнях ACM, IEEE, Springer, Wiley, MDPI та Elsevier підтверджує вирішальну роль інженерії та відбору ознак для адаптації аналітичних моделей до високої розмірності та унікальних складнощів інформаційного середовища «розумних міст» [30]. Цей процес також сприяє виділенню прихованих змінних, критично важливих для забезпечення критеріїв системної сталості. Виокремлюючи ключові ознаки, пов'язані з динамікою енергоспоживання, рівнями антропогенного навантаження та оптимізацією логістики відходів, оптимізаційні алгоритми дає змогу формулювати цільові стратегії для мінімізації екологічного впливу міської інфраструктури [30]. Отже, відбір ознак є базовою математичною стратегією оптимізації цифрових послуг, яка забезпечує перехід від необроблених даних («raw data») до практичних компромісних рішень і сприяє побудові ефективних, адаптивних та сталих інформаційно-технологічних архітектур «розумного міста».

2.4 Інженерія ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Інженерія ознак «Feature engineering» є базовою математичною та алгоритмічною стратегією в екосистемі «розумного міста», яка оптимізує процеси багатокритеріального прийняття рішень, цифровізацію міського планування та загальну ефективність управління інформаційними потоками. Вона забезпечує виявлення, фільтрацію та математичну трансформацію релевантних змінних у гетерогенних масивах необроблених даних («raw data»), суттєво підвищуючи точність, збіжність та надійність вихідних результатів оптимізаційних моделей [30]. Це безпосередньо покращує дієвість процедур вибору компромісних рішень, уможливаючи прецизійне та обґрунтоване муніципальне управління на основі кількісних метрик. Інженерія ознак адаптує та оптимізує моделі ML для прогностичної аналітики, виділяючи найбільш інформативні та дискримінативні (розрізнявальні) параметри, що критично важливо для генерації точних аналітичних висновків та оцінювання конфліктуючих цільових функцій цифрових послуг. Крім того, вона забезпечує ефективне зниження розмірності простору параметрів («dimensionality reduction»), оптимізуючи великомасштабні й високовимірні набори великих міських даних, що знижує обчислювальну складність алгоритмів та підвищує рівень інтерпретованості застосовуваних моделей.

Інженерія ознак покращує аналітичну інтерпретованість даних і математичних моделей у «розумних містах», сприяючи прозорості алгоритмів багатокритеріальної оптимізації та підвищуючи об'єктивність прийняття рішень. Вона підтримує високу адаптивність систем до стохастичної міської динаміки, гарантуючи, що прогностичні та оптимізаційні моделі динамічно еволюціонують разом із появою нових експлуатаційних тенденцій та мінливих вимог до QoS. У ресурсомісткій структурі цифрових сервісів «розумних міст» інженерія ознак дає можливість формувати компактніші, ортогональні набори даних, які містять виключно найбільш значущі атрибути інфраструктури, завдяки чому мінімізується обчислювальне навантаження на сервери та периферійні пристрої

(«edge computing»). Таке скорочення розмірності є критично важливим для систем і цифрових послуг, що працюють у режимі реального часу, оскільки забезпечує мінімальну затримку («latency») при опрацюванні інформації та своєчасний розрахунок компромісних керуючих дій. Таким чином, інженерія ознак є незамінним інструментом у задачах багатокритеріальної оптимізації «розумних міст», який надає можливість вилучати змістовну структуровану інформацію зі складних багатовимірних масивів телеметрії та забезпечує стає, ефективне й високопродуктивне функціонування цифрового середовища «розумного міста».

2.5 Вибір критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Авторами [30] було обґрунтовано, що відбір оптимального набору критеріїв для формування простору ознак є детермінуючим етапом у задачах багатокритеріального прийняття рішень (MCDM), оскільки він закладає математичний базис, на основі якого здійснюється компаративний аналіз та Парето-оптимальне ранжування архітектурних альтернатив. У цьому контексті для комплексної оцінки ефективності функціонування цифрових послуг було структуровано дев'ять цільових атрибутів. Зазначений дескрипторний набір є найбільш релевантним для алгоритмічного аналізу складних багатовимірних сценаріїв, характерних [30] для:

- цифрової інфраструктури «розумних міст»;
- інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;
- інноваційних сервіс-орієнтованих платформ.

Науковий підхід передбачає одночасну інтеграцію технічних, операційних та системно-екологічних (сталих) аспектів для формування уніфікованої методологічної бази вимірювання інтегральної ефективності цифрових послуг. Критерії, відібрані для реалізації поточного процесу багатокритеріальної оптимізації:

- Інтеграція даних та моніторинг у режимі реального часу.
- Прогностична аналітика та прогнозування.

- Взаємосумісність та системна інтеграція.
- Симуляція та тестування сценаріїв.
- Оптимізація ресурсів та енергоспоживання.
- Стійкість («resilience»), надійність та безпека.
- Людиноцентрировані (орієнтовані на громадян) сервіси.
- Сталість (сталлий розвиток).
- Управління (менеджмент).

Критерії були відібрані на основі їхньої релевантності для багатокритеріальної оптимізації цифрової інфраструктури «розумних міст», що забезпечує їхню повну відповідність стратегічним цілям муніципального управління [30], як от:

- інтеграція гетерогенних даних;
- прогностична аналітика;
- технологічна взаємосумісність систем («interoperability»);
- динамічна оптимізація інфраструктурних ресурсів;
- людиноцентрировані сервіси;
- QoS.

Формалізація та структурування цих критеріїв дає можливість побудувати математичний базис для прийняття рішень, уможливаючи систематичне Парето-оптимальне оцінювання архітектурних рішень для цифрових послуг на основі суворих кількісних метрик.

2.6 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи висвітлено процеси прийняття рішень для потреб цифрових послуг «розумного міста». Досліджено методології багатокритеріального прийняття рішень цифрових послуг «розумного міста». Обґрунтовано відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Описано інженерію ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Обґрунтовано вибір критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

3 МЕТОДОЛОГІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ РОЗУМНОГО МІСТА

3.1 Метод ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Ентропійний підхід, теоретико-інформаційну специфіку якого описано в дослідженнях [43], є об'єктивним математичним методом, що застосовується для розрахунку вагових коефіцієнтів та ідентифікації ступеня значущості цільових критеріїв у процесі багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг. Математичний апарат методу базується на аналізі інформаційної мінливості або дисперсії первинних телеметричних даних за кожним із досліджуваних параметрів інфраструктури «розумних міст». Це гарантує, що атрибути сервісів із найбільшим обсягом корисної інформації чинять детермінуючий вплив на підсумковий рейтинг альтернатив [30]. Послідовність етапів, що складають обчислювальний алгоритм ентропійного підходу, подана на рисунку 3.1.

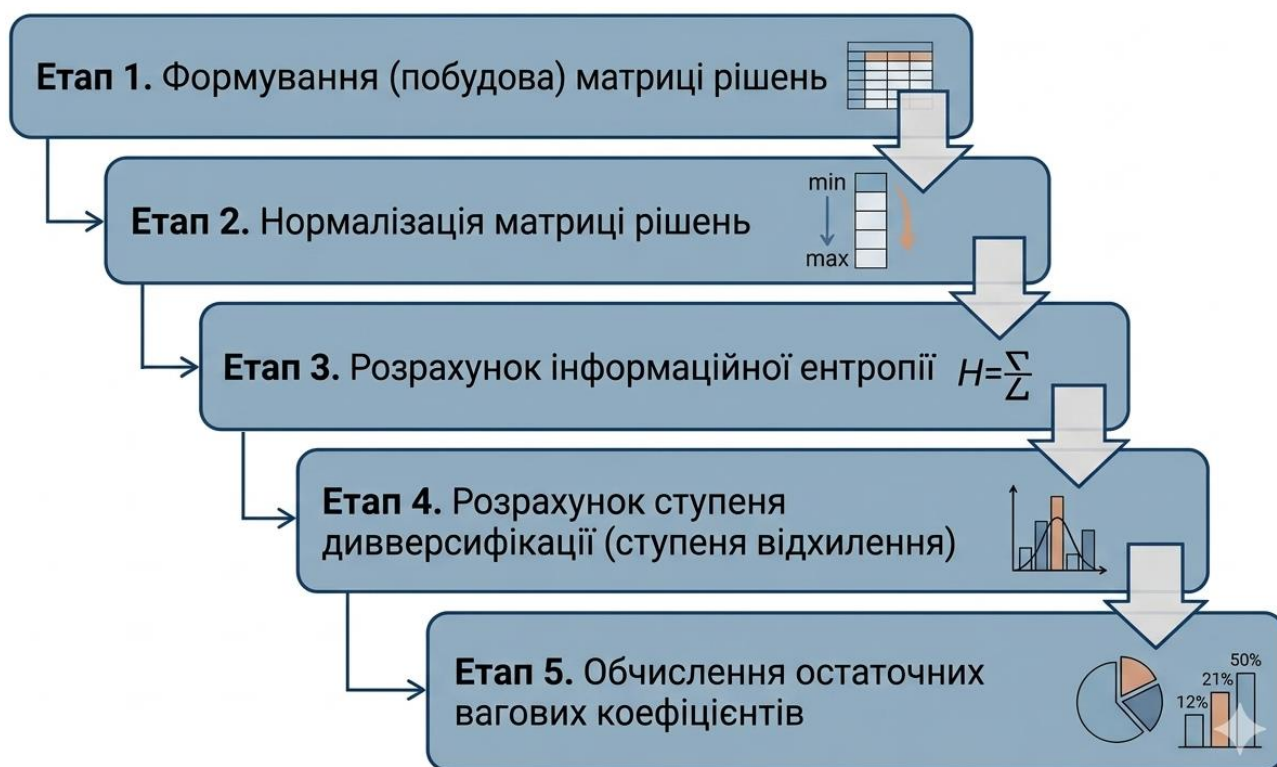


Рисунок 3.1 – Алгоритм методу ентропії для обчислення вагових коефіцієнтів критеріїв [30]

Високий рівень дисперсії чи розсіювання значень у межах певного критерію свідчить про його високу інформативність та значну дискримінаційну здатність для диференціації альтернативних конфігурацій цифрових сервісів. Таким чином, методологія ентропії присвоює більшу вагу тим критеріям, значення яких суттєво варіюються між розгляданими альтернативами, і навпаки – мінімізує вагові коефіцієнти для параметрів зі схожими, концентрованими значеннями, оскільки вони не надає можливість ефективно розділити Парето-оптимальні рішення [30]. Фундаментальна перевага цього підходу в задачах оптимізації цифрового простору «розумного міста» полягає в суто кількісному визначенні вагових векторів на основі реальних масивів даних («data-driven approach»), що повністю виключає суб'єктивізм та похибки експертного оцінювання. Завдяки використанню методу інформаційної ентропії стає можливим систематичний аналіз багатовимірному простору ознак та динамічний розрахунок нормованого вектора відносних ваг, точно адаптованого під поточний стан цифрової системи.

3.1.1 Обчислювальна реалізація ентропійного підходу

Для визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв ефективності в межах оптимізації цифрових послуг «розумного міста» було застосовано об'єктивний підхід на основі інформаційної ентропії Шеннона, який дає можливість мінімізувати суб'єктивізм експертних оцінок за рахунок розрахунку вагових параметрів безпосередньо на основі внутрішньої структури вихідних даних [30]. Процедура зважування реалізовано для системи, що використовує дев'ять альтернативних варіантів конфігурації цифрових послуг та дев'ять функціонально-технічних критеріїв їх оцінювання, серед яких:

- інтеграція даних та моніторинг у режимі реального часу;
- прогностична аналітика та прогнозування;
- взаємосумісність та системна інтеграція;
- симуляція та тестування сценаріїв;
- оптимізація ресурсів та енергоспоживання;

- стійкість;
- надійність та безпека;
- людиноцентричні сервіси;
- управління та сталість розвитку.

Математичний апарат ентропійного аналізу передбачає декілька послідовних етапів, починаючи з формування початкової матриці рішень, яка відображає кількісні та якісні характеристики кожної альтернативи за визначеним вектором критеріїв. З метою забезпечення порівнянності різнорідних показників та приведення їх до безрозмірного вигляду здійснено процедуру нормалізації елементів цієї матриці [30]. На основі отриманих нормалізованих значень для кожного критерію обчислено показник інформаційної ентропії, що характеризує ступінь невизначеності інформації. Відповідно до положень теорії інформації, нижчі значення ентропії свідчать про більшу мінливість показників альтернатив у межах конкретного критерію, що визначає його вищу інформативність для загального процесу прийняття рішень. Наступним кроком визначено ступінь диверсифікації для кожного критерію, який відображає корисність наявних даних для диференціації альтернатив. Фінальні вагові коефіцієнти критеріїв розраховано шляхом нормування значень ступеня диверсифікації за всіма показниками [30]. Таким чином, найбільшу математичну вагу отримали ті критерії, які мають вищу розрізнявальну здатність, а обчислені вагові коефіцієнти надалі використано як вхідні параметри для багатокритеріального ранжування та пріоритезації цифрових послуг за допомогою компромісного методу VIKOR. На початковому етапі за допомогою рівняння (3.1) було побудовано матрицю рішень розмірністю 9×9 , що містить зазначені альтернативи та критерії.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.1)$$

де «D» – матриця рішень,

«А» – альтернативи,

«С» – критерії,

«Х» – елементи матриці.

Позначимо критерії оптимізації цифрових послуг «розумних міст»:

К1 – Інтеграція даних та моніторинг у режимі реального часу.

К2 – Прогностична аналітика та прогнозування.

К3 – Взаємосумісність та системна інтеграція.

К4 – Симуляція та тестування сценаріїв.

К5 – Оптимізація ресурсів та енергоспоживання

К6 – Стійкість «resilience», надійність та безпека.

К7 – Людиноцентризовані сервіси.

К8 – Сталість.

К9 – Управління.

Початкові бали в діапазоні від 0 до 9 були присвоєні на основі їхньої важливості, як показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Нормалізована матриця рішень [30]

Альтернативи/ Показники	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К9
A1	7	5	3	7	3	9	5	3	7
A2	3	9	7	5	9	7	3	7	5
A3	5	3	9	3	5	3	7	9	3
A4	9	7	5	7	3	5	9	5	9
A5	3	9	7	3	5	9	3	7	5
A6	7	5	3	5	9	3	5	3	7
A7	5	3	9	7	3	5	7	9	5
A8	3	7	5	9	5	7	9	3	7
A9	9	5	7	3	3	9	3	7	9
SUM (Сума)	51	53	55	49	45	57	51	53	57

Процес нормалізації елементів в ентропійному підході є важливим, оскільки він дає змогу порівнювати між собою критерії з різними діапазонами або навіть із різними одиницями вимірювання [30]. Ця дія спрямована на зведення матриці рішень до безрозмірного вигляду зі значеннями в діапазоні від 0 до 1, що уможливорює коректний розрахунок ентропії для кожного критерію. Альтернативи розміщено в рядках, тоді як критерії – у стовпцях разом із сумарними значеннями для кожного стовпця, як проілюстровано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця рішень [30]

Альтернативи/ Показники	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	7	5	3	7	3	9	5	3	7
A2	3	9	7	5	9	7	3	7	5
A3	5	3	9	3	5	3	7	9	3
A4	9	7	5	7	3	5	9	5	9
A5	3	9	7	3	5	9	3	7	5
A6	7	5	3	5	9	3	5	3	7
A7	5	3	9	7	3	5	7	9	5
A8	3	7	5	9	5	7	9	3	7
A9	9	5	7	3	3	9	3	7	9
SUM (Сума)	51	53	55	49	45	57	51	53	57

Як наслідок, нормалізація в рамках методу ентропії гарантує, що всі критерії розглядаються на рівних та справедливих засадах, відповідно до початкових масштабів самих критеріїв. Це допомагає нам визначити значення ентропії, які є мірою невизначеності, пов'язаної з кожним критерієм, і зрештою встановити важливість кожного з них:

Рівняння (3.2) було застосовано для нормалізації матриці рішень з метою зменшення суб'єктивізму та мінливості початкових значень, присвоєних кожному критерію.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}}} \quad (3.2)$$

У табл. 3.1 подано критерії, альтернативи та відповідні їм нормалізовані вихідні дані. Після проведення нормалізації наступним кроком є розрахунок ентропії для кожного критерію. Ентропія вимірює ступінь безладу або непередбачуваності в наданих даних критеріїв. Це означає, що критерій із високим значенням ентропії є малокорисним для розрізнення варіантів (альтернатив), оскільки він створює великий розкид вибірок. Навпаки, низька ентропія критерію пропонує релевантнішу інформацію. Значення ентропії варіюються від 0 до 1, де нижча ентропія виражає більшу цінність інформації, яку надає критерій, тоді як вища ентропія свідчить про меншу інформативність [30]. Обчислені значення ентропії будуть використані для вимірювання ступеня розбіжності (дивергенції) та присвоєння їй кожному критерію.

Значення ентропії були обчислені за допомогою рівняння (3.3), що передбачає двоетапний процес для спрощення розрахунків.

$$Entropy(e) = -h \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} * \ln(r_{ij}) \right) \quad (3.3)$$

де $j = 1, 2, 3, \dots, n$,

$$h = 1/\ln(m),$$

m – кількість альтернатив.

У даному випадку $m = 9$, So $h = 1/\ln(9)$, відповідно $h = 1/2.197224577$. Таким чином, $h = 0.455119613$, а $?h = -0.455119613$.

Значення ентропії для кожного критерію за різними альтернативами було визначено, і всі обчислені бали відображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Показники ентропії [30]

Спочатку було визначено значення « h », а потім виконано множення значення $-h$ на інші компоненти рівняння. Різні етапи та відповідні значення ентропії подано в таблиці 3.3.

Диверсифікація – це процес, який відбувається після розрахунку ентропії для вимірювання ступеня розбіжності, або корисності інформації чи диференціації критеріїв [30].

Таблиця 3.3 – Розрахунок ентропії [30]

Альтернативи / Показники	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	-0.273	-0.223	-0.159	-0.278	-0.181	-0.291	-0.228	-0.163	-0.258
A2	-0.167	-0.301	-0.262	-0.233	-0.322	-0.258	-0.167	-0.267	-0.213
A3	-0.228	-0.163	-0.296	-0.171	-0.244	-0.155	-0.273	-0.301	-0.155
A4	-0.306	-0.267	-0.218	-0.278	-0.181	-0.213	-0.306	-0.223	-0.291
A5	-0.167	-0.301	-0.262	-0.171	-0.244	-0.291	-0.167	-0.267	-0.213
A6	-0.273	-0.223	-0.159	-0.233	-0.322	-0.155	-0.228	-0.163	-0.258

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A7	-0.228	-0.163	-0.296	-0.278	-0.181	-0.213	-0.273	-0.301	-0.213
A8	-0.167	-0.267	-0.218	-0.311	-0.244	-0.258	-0.306	-0.163	-0.258
A9	-0.306	-0.223	-0.262	-0.171	-0.181	-0.291	-0.167	-0.267	-0.291
$(\sum_{i=1}^m r_{ij} * \ln(r_{ij}))$	-2.113	-2.130	-2.133	-2.124	-2.098	-2.126	-2.113	-2.115	-2.151
e	0.962	0.969	0.971	0.967	0.955	0.968	0.962	0.962	0.979

Цей етап надає можливість визначити, до якої міри можна використовувати певний критерій для розрізнення варіантів, ідентифікуючи важливу інформацію, яку несе цей критерій. Відповідно до ступеня розбіжності визначається вага кожного критерію, що відображає його інформативність [30]. Рівняння (3.4) і (3.5) обчислюють вихідні дані диверсифікації.

$$Diversification(d) = 1 - e \quad (3.4)$$

i

$$\sum (1 - e) \quad (3.5)$$

Звідси робиться висновок, що ступінь розбіжності або диверсифікації критерію відображає його інформативність та розрізнявальну здатність. Критеріям, які тісно пов'язані з диференціацією між альтернативами та мають вищі значення диверсифікації, приписується більша важливість. Ця процедура усуває малокорисну надмірність (дублювання), гарантуючи, що кінцеве прийняття рішень базуватиметься на найбільш релевантних ознаках [30]. У таблиці 3.4 подано показники диверсифікації та їхні додаткові значення.

Таблиця 3.4 – Показники диверсифікації [30]

Альтернативи/ Показники	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	$\sum(1 - e)$
A1	-0.273	-0.223	-0.159	-0.278	-0.181	-0.291	-0.228	-0.163	-0.258	
A2	-0.167	-0.301	-0.262	-0.233	-0.322	-0.258	-0.167	-0.267	-0.213	
A3	-0.228	-0.163	-0.296	-0.171	-0.244	-0.155	-0.273	-0.301	-0.155	
A4	-0.306	-0.267	-0.218	-0.278	-0.181	-0.213	-0.306	-0.223	-0.291	
A5	-0.167	-0.301	-0.262	-0.171	-0.244	-0.291	-0.167	-0.267	-0.213	
A6	-0.273	-0.223	-0.159	-0.233	-0.322	-0.155	-0.228	-0.163	-0.258	
A7	-0.228	-0.163	-0.296	-0.278	-0.181	-0.213	-0.273	-0.301	-0.213	
A8	-0.167	-0.267	-0.218	-0.311	-0.244	-0.258	-0.306	-0.163	-0.258	
A9	-0.306	-0.223	-0.262	-0.171	-0.181	-0.291	-0.167	-0.267	-0.291	
e	0.962	0.969	0.971	0.967	0.955	0.968	0.962	0.962	0.979	
$d = 1 - e$	0.038	0.031	0.029	0.033	0.045	0.032	0.038	0.038	0.021	0.306

Отримані значення розбіжності потім стандартизуються (нормуються) для отримання вагових коефіцієнтів, що накладає обмеження, згідно з яким сума всіх ваг повинна дорівнювати одиниці. Ця процедура присвоює більшу вагу тим критеріям, які надають корисніші знання для прийняття рішень, роблячи їх впливовішими під час порівняння та пріоритезації альтернатив [30]. Зрештою, ентропійний метод забезпечує підхід до визначення рангу факторів у середовищі багатокритеріального прийняття рішень із застосуванням цього методу. Розрахунок вагових коефіцієнтів (W) для кожного критерію та вихідні дані диверсифікації. Вагові коефіцієнти кожного критерію визначено. Вектор ваг:

$$\text{Weight vector}(W) = \frac{1 - e}{\sum(1 - e)} \text{ (OR) } \frac{d}{\sum d} \quad (3.6)$$

Критерій із найбільшою вагою свідчить про те, що він має більший вплив на оцінювання альтернатив і є більш значущим. Обчислена відносна важливість критеріїв на основі їхніх ваг подана в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вагові коефіцієнти (W) кожного критерію [30]

Критерії		W (%)	W (%)
K1	Інтеграція даних та моніторинг у режимі реального часу	0.126	12.569
K2	Прогностична аналітика та прогнозування	0.100	9.972
K3	Взаємосумісність та системна інтеграція	0.096	9.584
K4	Симуляція та тестування сценаріїв	0.109	10.884
K5	Оптимізація ресурсів та енергоспоживання	0.147	14.708
K6	Стійкість, надійність та безпека	0.105	10.546
K7	Людиноцентризовані сервіси	0.126	12.569
K8	Сталість	0.123	12.281
K9	Управління	0.069	6.887

Визначена вага кожного критерію показана на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Вагова оцінка критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста» [30]

Розрахунок вагових коефіцієнтів критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста» було виконано за допомогою методу ентропії.

3.2 Пріоритезація альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» за допомогою методології VIKOR

3.2.1 Опис методики VIKOR

Методологія VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) орієнтована на визначення оптимального рішення з множини наявних альтернатив на основі концепції компромісного ранжування, що базується на вимірюванні міри індивідуальної «регресивної міри» для кожного варіанта [30]. У межах багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» цей підхід дає можливість систематизувати процес вибору конфігурацій систем за рахунок мінімізації максимального незадоволення особи, яка приймає рішення та максимізації групової корисності.

Формування компромісного рішення за допомогою методу VIKOR забезпечує об'єктивний аналіз вихідних масивів даних та дає змогу виявити латентні компроміси між суперечливими критеріями оцінювання, зокрема між позитивно зваженими критеріями максимізації, як-от стійкість, надійність та людиноцентричність, та негативно зваженими критеріями мінімізації, як-от енергоспоживання чи витрати ресурсів. В основі цього підходу лежить припущення, що вибір варіанта, який є геометрично найближчим до ідеальної (утопічної) точки, гарантує отримання найбільш збалансованого загального результату за умови одночасного врахування всієї сукупності факторів впливу [30].

Практична реалізація алгоритму VIKOR потребує первинного оцінювання альтернатив за кожним локальним критерієм у межах сформованої матриці рішень (див. рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Етапи застосування методу VIKOR для ранжування альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» [30]

Наступним кроком є розрахунок інтегральних балів та подальше ранжування варіантів на основі визначення їхньої відносної відстані від ідеального рішення, що максимізує вигоди за критеріями-бенефітами та мінімізує витрати за критеріями-костами, та антиідеального рішення, що відображає найгірші значення за всіма показниками [30]. Ця процедура враховує як сукупний показник ефективності, так і індивідуальний рівень незадоволення, що дає змогу ідентифікувати рішення, яке одночасно є максимально віддаленим від антиідеальної точки та наближеним до оптимального цільового стану. На

відповідному рисунку візуалізовано покроковий алгоритм реалізації методу VIKOR, що забезпечує системне порівняння альтернативних варіантів побудови цифрових послуг та обґрунтування найбільш раціонального фінального рішення.

3.2.2 Обчислювальна робота VIKOR для пріоритезації альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Метод компромісного ранжування VIKOR є релевантним математичним апаратом, що широко застосовується в інженерії, управлінні проектами, екологічному менеджменті, логістиці та охороні здоров'я для обґрунтування оптимальних рішень на основі балансування між рівнем досягнення цілей та мінімізацією максимального індивідуальної регресивної міри [30]. Особливу наукову та практичну цінність цей підхід має за умов необхідності узгодження суперечливих та взаємовиключних цільових функцій, що є характерним для задач просторового планування об'єктів інфраструктури, вибору постачальників, оцінювання технологічних стеків чи стратегічного планування.

Специфіка багатокритеріальної оптимізації сучасних архітектурних рішень для «розумних міст» полягає у необхідності оперування неспівмірними та багатоаспектними параметрами функціонування систем. Для розв'язання цієї задачі було в [30] імплементовано метод VIKOR, спрямований на компаративний аналіз та багатокритеріальне оцінювання альтернативних конфігурацій цифрових послуг з метою ідентифікації найбільш ефективного варіанта.

У межах побудованої оптимізаційної моделі сформовано систему з дев'яти альтернатив A1–A9, які відображають варіанти реалізації сталих цифрових сервісів «розумного міста», та дев'яти локальних критеріїв оцінювання [30]. Слід зазначити, що всі дев'ять визначених критеріїв мають характер бенефітів – корисних ознак, тобто підлягають максимізації.

На початковому етапі розрахунків для методу VIKOR було використано вихідну матрицю рішень, сформовану раніше для проведення ентропійного аналізу. Оцінювання характеристик альтернатив за вектором критеріїв здійснювалося за бальною шкалою від 1 до 10 відповідно до ступеня їхньої

значущості [30]. Розрахунок граничних екстремальних параметрів (мінімальних та максимальних значень), необхідних для подальшої процедури нормалізації вихідних даних, реалізовано за допомогою виразів 3.7 та 3.8.

Рівняння X_j^+ та X_j^- визначають критерії відбору для корисних (прибуткових) та некорисних (витратних) результатів на основі належності індексу j до множини J . Рівняння корисного результату:

$$X_j^+ = \begin{cases} \max_i(X_{ij}), & \text{if } j \in J, \\ \min_i(X_{ij}), & \text{if } j \in \bar{J}. \end{cases} \quad (3.7)$$

У цьому контексті, якщо j належить до множини J , рівняння обирає максимальне значення X_{ij} серед усіх можливих i , що відображає підхід до оптимізації, за якого шукається найкращий можливий результат [30]. Навпаки, якщо j перебуває в доповненні до множини J (позначається як \bar{J}), воно обирає мінімальне значення, що вказує на більш консервативну стратегію, спрямовану на мінімізацію потенційних втрат.

З іншого боку, некорисний результат описується рівнянням:

$$X_j^- = \begin{cases} \min_i(X_{ij}), & \text{if } j \in J, \\ \max_i(X_{ij}), & \text{if } j \in \bar{J}. \end{cases} \quad (3.8)$$

Тут, якщо j є частиною множини J , рівняння набуває мінімального значення X_{ij} , що означає зосередження на найменш сприятливому результаті. І навпаки, для j у множині \bar{J} воно обирає максимальне значення, що можна інтерпретувати як оцінювання найгіршого сценарію [30]. Ці рівняння забезпечують основу для прийняття рішень залежно від того, є результат корисним чи некорисним, що надає можливість адаптувати рішення до різних умов.

Сформовану матрицю рішень, а також розраховані вектори максимальних і мінімальних оцінок за кожним критерієм наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Матриця рішень VIKOR [30]

Альтернативи / Показники	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	7	5	3	7	3	9	5	3	7
A2	3	9	7	5	9	7	3	7	5
A3	5	3	9	3	5	3	7	9	3
A4	9	7	5	7	3	5	9	5	9
A5	3	9	7	3	5	9	3	7	5
A6	7	5	3	5	9	3	5	3	7
A7	5	3	9	7	3	5	7	9	5
A8	3	7	5	9	5	7	9	3	7
A9	9	5	7	3	3	9	3	7	9
X+	9	9	9	9	9	9	9	9	9
X-	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Процес нормалізації інтегровано таким чином, що він робить усі критерії еквівалентними для оцінювання відстані між альтернативами та як ідеальним, так і негативним ідеальним рішеннями, незалежно від масштабу та одиниць вимірювання [30]. Оскільки метод VIKOR має справу з пріоритезацією багатогранних критеріїв альтернатив, нормалізація перетворює показники ефективності у безрозмірну форму для подальших розрахунків, як от визначення S , R та Q . Процес нормалізації було виконано за допомогою рівняння 3.9.

$$Normalized\ Matrix(N_{ij}) = \frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_i^+ - X_i^-} \quad (3.9)$$

У цьому рівнянні N_{ij} є нормалізованою оцінкою для конкретного критерію j та альтернативи i . Чисельник, $X_j^+ - X_{ij}$, визначає різницю між найкращим можливим значенням для критерію j (позначеним як X_j^+) та фактичним значенням цього критерію для альтернативи i (позначеним як X_{ij}). Знаменник, $X_i^+ - X_i^-$, уособлює діапазон між найкращим і найгіршим можливими значеннями для критерію загалом [30]. Завдяки застосуванню цієї формули ефективність кожного критерію масштабується відносно його ідеального та найгіршого значень, перетворюючи вихідні дані у безрозмірну форму, що полегшує оцінювання та порівняння різних альтернатив за різними критеріями прийняття рішень.

Оскільки після нормалізації за допомогою методу VIKOR усі критерії перебувають в однаковій шкалі значень, вимірювання ступеня близькості різних альтернатив до ідеального рішення стає простішим [30]. Задачі, які необхідно вирішити на цьому етапі, є суттєвими під час пошуку оптимального компромісного рішення, з одночасним урахуванням певних уподобань особи, яка приймає рішення, та її коефіцієнтів переваг, знайдених для конфліктуючих характеристик. Обчислені нормалізовані значення подані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Нормалізована матриця рішень [30]

Альтернативи	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0.333	0.667	1.000	0.333	1.000	0.000	0.667	1.000	0.333
A2	1.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.333	1.000	0.333	0.667
A3	0.667	1.000	0.000	1.000	0.667	1.000	0.333	0.000	1.000
A4	0.000	0.333	0.667	0.333	1.000	0.667	0.000	0.667	0.000
A5	1.000	0.000	0.333	1.000	0.667	0.000	1.000	0.333	0.667
A6	0.333	0.667	1.000	0.667	0.000	1.000	0.667	1.000	0.333
A7	0.667	1.000	0.000	0.333	1.000	0.667	0.333	0.000	0.667

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A8	1.000	0.333	0.667	0.000	0.667	0.333	0.000	1.000	0.333
A9	0.000	0.667	0.333	1.000	1.000	0.000	1.000	0.333	0.000

Загальна відстань між кожною такою альтернативою та множиною істинних рішень описується показником мірою корисності S , яка показує, наскільки варіант близький до найкращого можливого результату за кожним фактором. Шляхом збалансування ефективності кожного критерію з його ваговим значенням, розрахунок величини S допомагає визначити, наскільки альтернатива близька до найкращого вирішення проблеми [30]. Для отримання значення S для певного варіанта використовується зважена сума нормалізованих відхилень від оптимального значення. Ця процедура також передбачає підсумовування впливу корисних і некорисних критеріїв. Зрештою, міра S визначає ефективність альтернативи за всіма критеріями, оцінюючи загальну відстань розв'язку від ідеального рішення. Ця міра корисності забезпечує ранжування значень відповідно до ступеня близькості до найкращого досяжного варіанта з урахуванням важливості кожного критерію. Рівняння 3.10 було застосовано для виконання цього процесу вимірювання значень S .

$$S_i = \sum_{j=1}^m \left(w_j \cdot \frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_i^+ - X_i^-} \right) \quad (3.10)$$

Відстань між кожною «регресивною мірою» та альтернативою від оптимального розв'язку за всіма критеріями обчислюється за допомогою регресивної міри R . Вона використовує найгірший показник ефективності для кожного варіанта шляхом урахування того критерію, за яким цей варіант є найбільш віддаленим від ідеалу. У той час як міра R спрямована на максимальне відхилення або найменш успішний критерій для кожної з альтернатив, міра S акумулює відхилення за всіма критеріями. Міра R акцентує увагу на

максимальній регресивній мірі або відхиленні альтернативи від ідеального рішення за будь-яким із критеріїв. Вона показує найнижчу оцінку, отриману за певним критерієм для кожної з альтернатив, що може бути цінним, особливо якщо потрібно уникнути вибору, який стане джерелом максимальної регресивної міри [30]. Низьке значення R вважається бажаним, оскільки цей показник позначає мінімальне найгірше з можливих відхилень від найкращого сценарію. Отримане значення R для кожної з альтернатив базується на максимальному зваженому відхиленні значення критерію від ідеального значення відповідно до рівняння:

$$R_i = \max_j \left(W_j \cdot \frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_i^+ - X_i^-} \right) \quad (3.11)$$

Розраховані бали показників S та R для кожної альтернативи за кількома критеріями подані в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Показники корисності S та регресивна міра R [30]

Альтернативи	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	S	R
A1	0.042	0.066	0.096	0.036	0.147	0.000	0.084	0.123	0.023	0.617	0.147
A2	0.126	0.000	0.032	0.073	0.000	0.035	0.126	0.041	0.046	0.478	0.126
A3	0.084	0.100	0.000	0.109	0.098	0.105	0.042	0.000	0.069	0.607	0.109
A4	0.000	0.033	0.064	0.036	0.147	0.070	0.000	0.082	0.000	0.433	0.147
A5	0.126	0.000	0.032	0.109	0.098	0.000	0.126	0.041	0.046	0.577	0.126
A6	0.042	0.066	0.096	0.073	0.000	0.105	0.084	0.123	0.023	0.612	0.123
A7	0.084	0.100	0.000	0.036	0.147	0.070	0.042	0.000	0.046	0.525	0.147
A8	0.126	0.033	0.064	0.000	0.098	0.035	0.000	0.123	0.023	0.502	0.126
A9	0.000	0.066	0.032	0.109	0.147	0.000	0.126	0.041	0.000	0.521	0.147

Значення S та R були визначені для ілюстрації міри корисності та регресивної міри кожної альтернативи [30]. Розраховані бали відображені на рисунку 3.5. Після обчислення значень S (міри корисності) та R (регресивної міри) для альтернатив, наступним кроком є оцінювання ідеальних (найкращих) та негативних ідеальних значень.

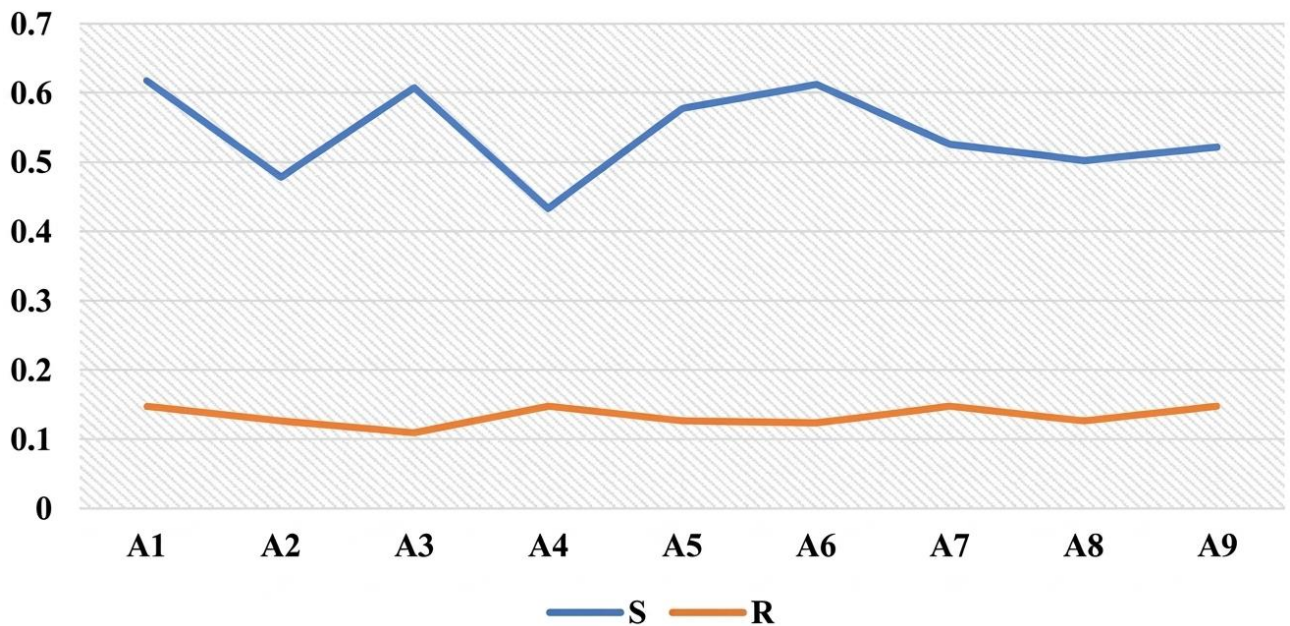


Рисунок 3.5 – Розраховані значення S та R [30]

Ці значення, що позначаються як елементи S^* , S^- , R^* та R^- , становлять основу компромісного рішення, оскільки після цього також розраховується індекс Q [30]. Значення були отримані за допомогою рівняння 3.12 відповідно.

$$R_i = \max_j \left(W_j \cdot \frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_i^+ - X_i^-} \right) \quad (3.12)$$

Q є кінцевим компромісним індексом ранжування, а показники S та R використовуються для вимірювання кожної альтернативи. Індекс Q розроблений для отримання найкращого наближеного розв'язку з-поміж рішень, які знаходять компроміс між глобальними цілями та показниками регресивної міри у

найгіршому випадку [30]. Визначено, що нижче значення Q свідчить на користь альтернативи, яка i є найкращим компромісним рішенням. Що стосується типового значення Q , мінімальне значення є найкращим, оскільки воно вказує на компромісний варіант серед усіх альтернатив. Це означає, що чим нижчим є показник Q , тим кращим є баланс між близькістю до найкращого рішення (яку відображає S) та найгіршим сценарієм (який відображає R).

Значення Q показують, що при порівнянні оцінюваних альтернатив варіанти з вищими значеннями Q є гіршими за ідеальне рішення з погляду корисності та регресивної міри, або ж мають гірші результати за критерієм з найнижчими показниками та перебувають далі від ідеалу з погляду близькості. Параметр V , значення якого встановлено на рівні 0.5, дає можливість зробити процес прийняття рішень гнучким [30].

Щоб урахувати загальну ефективність та уникнути регресивної міри. Нормалізовані значення S та R зважуються й агрегуються для визначення значення Q для кожної альтернативи шляхом застосування рівняння (3.13):

$$\begin{aligned} S^+ &= \min_i(S_i), & S^- &= \max_i(S_i), \\ R^+ &= \min_i(R_i), & R^- &= \max_i(R_i) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Значення Q забезпечує повне ранжування альтернатив критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста» шляхом врахування їхньої загальної ефективності, що позначається як S , та їхньої ефективності у найгіршому випадку, що позначається як R [30]. Цей підхід надасть особам, які приймають рішення, найкраще компромісне рішення при розв'язанні задач, де різні критерії тягнуть у протилежних напрямках. Розраховані значення Q для кожної альтернативи наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок значень S^* , R^* , S^- , R^- та Q [30]

Альтернатива	S_i	R_i	$V \cdot \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}$	$(1 - V) \cdot \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}$	Q	Ранг
A1	0.617	0.147	0.500	0.500	1.000	9
A2	0.478	0.126	0.123	0.220	0.343	1
A3	0.607	0.109	0.472	0.000	0.472	3
A4	0.433	0.147	0.000	0.500	0.500	4
A5	0.577	0.126	0.391	0.220	0.612	5
A6	0.612	0.123	0.486	0.183	0.668	6
A7	0.525	0.147	0.250	0.500	0.750	8
A8	0.502	0.126	0.187	0.220	0.408	2
A9	0.521	0.147	0.239	0.500	0.739	7
S^*, R^*	0.433	0.109				
S^-, R^-	0.617	0.147				

Ранжування в таблиці 3.9 відповідає процесу прийняття рішень VIKOR, де альтернативи ранжуються на основі їхніх значень Q . Значення Q символізує компромісний індекс ранжування, який розраховується шляхом балансування між корисності та регресивної міри. Альтернатива з найнижчим значенням Q вважається найбільш оптимальним рішенням, оскільки вона є найближчою до ідеального рішення при мінімізації регресивної міри [30]. У таблиці 3.9 альтернатива A2 має найнижчий бал $Q = 0.343$, що означає, що вона найкраще задовольняє критерії компромісного ранжування, і тому їй присвоєно 1-й ранг. Аналогічно, A8 ($Q = 0.408$) посідає 2-ге місце, A3 ($Q = 0.472$) – 3-тє місце і так далі, а A1 має найвище значення Q (1.000) і перебуває на найнижчому ранговому місці (9-му). Ранжування відповідає фундаментальному принципу VIKOR, згідно з яким нижче значення Q вказує на ефективнішу альтернативу з погляду збалансування компромісів між кількома критеріями.

Після того як значення Q для альтернатив визначено, наступним кроком у процесі ранжування є застосування умов для отримання компромісного рішення.

Дві згадані нами умови є корисними для аналізу того, чи є одна альтернатива суттєво кращою за іншу, та для перевірки відповідності умові, пов'язаній з мірою корисності S або регресивної міри R [30].

3.2.3 Умови ранжування альтернатив оптимізації цифрових послуг «розумного міста»

Умова 1: $Q(A2) - Q(A1) \geq DQ$, де $DQ = 1/J - 1$, а J – це кількість альтернатив. Ця умова означає, що різниця векторів між значеннями Q будь-яких двох альтернатив має бути рівною або вищою за значення, подане в DQ , для того щоб забезпечити реалістичне розрізнення їхньої цінності [30].

Умова 1 забезпечує основу для демонстрації того, що для того, аби альтернатива $A1$ була суттєво кращою за $A2$, різниця в значеннях Q цих двох альтернатив має бути рівною або більшою за DQ . У цьому випадку показники свідчать, що $A1$ є дещо кращою і більш ніж достатньо переважною на основі ранжування за індексом Q .

Умова 2: Для того щоб варіант $A1$ був класифікований як найкращий (топ-варіант), усе, що йому потрібно продемонструвати, – це високу позицію в рейтингу за мірою корисності S або за мірою регресивної міри R . Це означає, що альтернатива $A1$ має бути серед найкращих альтернатив за значеннями S (чим менше S , тим краще), або альтернатива $A1$ має бути серед найкращих альтернатив за значеннями R – чим менше R , тим краще [30].

Ця умова гарантує, що значення Q для альтернативи $A1$'s Q є не просто найкращим, але й відмінним порівняно з ідеальним станом або мінімальною регресивною мірою. Це важливо в задачах багатокритеріального прийняття рішень, оскільки підтверджує той факт, що $A1$ є найкращим компромісним рішенням з огляду на індекс Q і, крім того, є найкращим рішенням за одним із найважливіших критеріїв – корисністю або регресивною мірою [30]. Альтернативи було ранжовано на основі наданих умов та вихідних значень Q ,

при цьому варіант із найнижчим значенням Q розміщено на самому початку, а за ним ідуть інші, як показано в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Ранжування альтернатив [30]

Альтернативи	Бал Q (Індекс VIKOR)	Ранг (Місце)
A2	0.343	1
A8	0.408	2
A3	0.472	3
A4	0.500	4
A5	0.612	5
A6	0.668	6
A9	0.739	7
A7	0.750	8
A1	1.000	9

Усі альтернативи було ранжовано на основі їхніх значень Q та визначених умов, де варіант із найнижчим балом розміщено на початку списку, тоді як варіант із найвищим балом – наприкінці списку, як зображено на рисунку 3.6.

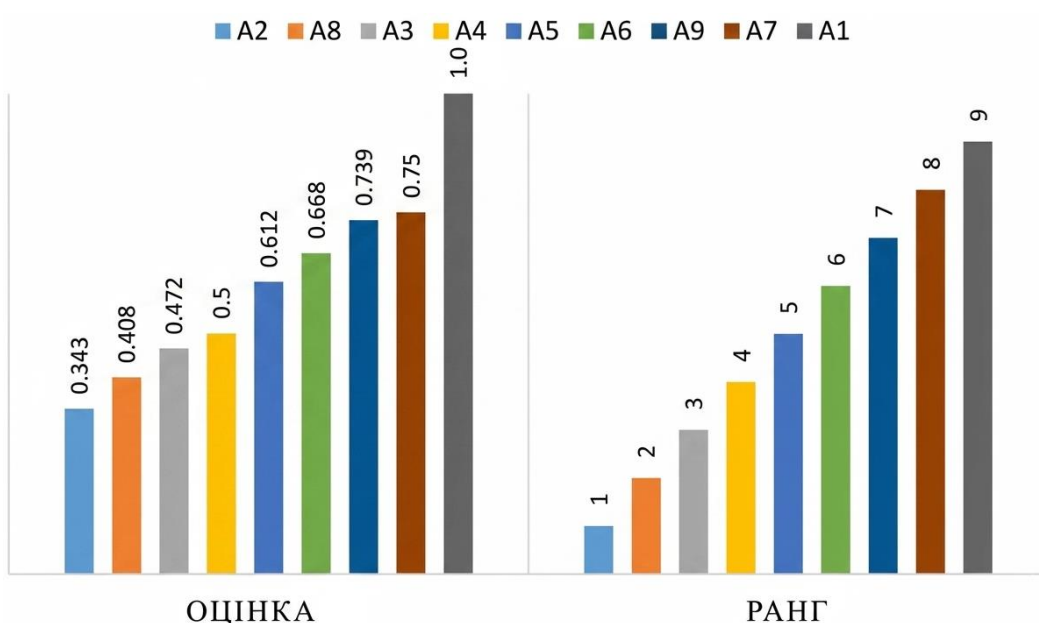


Рисунок 3.6 – Q-оцінка та ранжування альтернатив [30]

Отримані результати підтверджують високу ефективність та математичну спроможність інтегрованого гібридного підходу на основі методів інформаційної ентропії Шеннона та компромісного ранжування VIKOR для вирішення задач пріоритетизації цифрових послуг «розумного міста» в умовах багатокритеріального вибору [30]. На основі проведеного аналізу встановлено, що найбільші вагові коефіцієнти мають такі локальні критерії, як управління, взаємосумісність даних та системна інтеграція, прогностична аналітика та прогнозування, оптимізація ресурсів та енергоспоживання, а також людиноцентричні сервіси. Це свідчить про їхній критичний детермінований вплив на процеси стратегічного планування та забезпечення загальної сталості урбаністичних екосистем.

Застосування алгоритму VIKOR дало змогу ідентифікувати оптимальну альтернативу шляхом одночасного максимізування міри групової корисності та мінімізації індивідуальної регресивної міри, що гарантує формування збалансованого компромісного рішення в процесі багатокритеріального аналізу. Досліджувані варіанти архітектурної побудови цифрових послуг «розумного міста» було ранжовано за показником їхньої інтегральної ефективності. При цьому найбільш раціональна альтернатива характеризується мінімальним значенням функції регресивної міри, що математично доводить її відповідність критеріям оптимальності [30]. Результати моделювання підтверджують надійність та інваріантність запропонованого методологічного підходу, оскільки його імплементація надає можливість нівелювати інформаційну надлишковість вихідних даних, суттєво підвищити об'єктивність оцінювання та забезпечити прийняття управлінських рішень виключно на основі найбільш значущих ознак об'єкта дослідження.

Розроблена двоетапна модель «ентропія-VIKOR» має вагоме практичне значення для сфери розвитку «розумних міст», просторового міського планування та оптимізації управління муніципальними ресурсами . Запропонований у [30] підхід може бути безпосередньо використаний органами місцевого самоврядування та розробниками урбаністичних стратегій для оперативного оцінювання та пріоритетизації інвестиційних та технологічних

проектів залежно від рівня їхньої синергетичної ефективності, впливу на сталий розвиток і якість життя населення. Метод є особливо релевантним для розв'язання задач модернізації критичної інфраструктури, проектування інтелектуальних транспортних систем та оптимізації енергетичних мереж, функціонування яких супроводжується значною кількістю взаємопов'язаних стохастичних факторів. Крім того, математична структура моделі дає можливість адаптувати її до складу систем автоматизованого моніторингу в режимі реального часу. Це забезпечує можливість динамічного коригування процесів розподілу обмежених ресурсів «розумного міста» на основі методів прогностичної аналітики та поточних муніципальних потреб, що постійно трансформуються.

Завдяки формуванню систематизованої, репрезентативної та базованої на аналізі великих масивів даних методології, цей підхід підвищує рівень прозорості прийняття рішень, забезпечує довгострокову сталість та операційну ефективність міської інфраструктури, що дає змогу позиціонувати його як перспективний інструмент багатокритеріальної оптимізації систем управління «розумними містами».

3.3 Аналіз отриманих результатів

У дослідженні [30] реалізовано процедуру формування та оптимізації простору критеріїв «feature engineering» та «feature selection» з метою ідентифікації та виділення найбільш значущих і релевантних атрибутів із масиву вхідних даних. Зазначений підхід надає можливість нівелювати інформаційну надлишковість та забезпечити інтеграцію до оптимізаційної моделі виключно тих характеристик, які мають детермінований вплив на ефективність багатокритеріального вибору. Систематизація аналізованих ознак є критично важливою для побудови адекватних моделей прийняття рішень, спрямованих на раціоналізацію розподілу муніципальних ресурсів та підвищення ефективності процесів міського управління.

Інтеграція методів інформаційної ентропії Шеннона та компромісного ранжування VIKOR [30] демонструє високу спроможність під час оцінювання складних урбаністичних систем. Застосування ентропійного підходу дає можливість отримати об'єктивні вагові коефіцієнти локальних критеріїв на основі аналізу дисперсії вихідних даних. Більша математична вага присвоюється тим критеріям, які характеризуються високим рівнем варіативності показників альтернатив. Це свідчить про їхню вищу інформативність та релевантну здатність ефективно диференціювати оцінювані варіанти конфігурацій цифрових послуг «розумного міста».

Паралельно з цим, багатокритеріальне ранжування за методологією VIKOR виступає інструментом визначення оптимального рішення з множини допустимих альтернатив. Даний підхід базується на розрахунку інтегральних мір групової корисності та індивідуальної регресивної міри для кожного варіанта, що дає змогу формалізувати баланс між загальною ефективністю системи та потенційними втратами (ризиками), пов'язаними з вибором конкретної альтернативи [30].

Спільна аплікація запропонованих методів надала можливість отримати такі прагматичні результати. Серед дев'яти досліджуваних факторів найвищі вагові коефіцієнти отримали критерії оптимізації ресурсів та енергоспоживання $w = 0,147$, людиноцентричних сервісів $w = 0,132$, а також інтеграції даних та моніторингу в режимі реального часу $w = 0,126$ і сталості розвитку $w = 0,123$. У результаті компромісного ранжування альтернатив конфігурація A2 визначена як оптимальна, оскільки вона характеризується мінімальним значенням інтегрального індексу VIKOR ($Q = 0,343$), що свідчить про її максимальну наближеність до теоретичної ідеальної точки [30].

Концептуально, критерій із найбільшою ваговою значущістю визначає пріоритетні вектори впливу на об'єкт дослідження, тоді як альтернатива з найвищим рейтингом репрезентує найбільш збалансоване компромісне рішення за визначеною системою показників [30]. Побудований двокомпонентний методологічний комплекс формує надійне науково-методичне підґрунтя для підтримки прийняття рішень у багатовимірних стохастичних середовищах. Це

дає можливість муніципальним органам влади та розробникам стратегій «розумних міст» здійснювати організоване управління проектами, фокусуючи увагу на рішеннях, які повною мірою відповідають критеріям системної ефективності, техногенної безпеки та соціальної задоволеності громадян.

3.4 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано використання методу ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста». Здійснено пріоритезацію альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» за допомогою методології VIKOR. Виконано аналіз отриманих результатів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Психологічні та психофізіологічні чинники безпеки праці під час моделювання систем розумного міста

Дослідження та проектування стеків інформаційних технологій, орієнтованих на консолідацію та інтелектуальний аналіз великих масивів просторово-часових даних розумних міст, висувають підвищені вимоги до психоемоційної резистентності інженерно-технічного персоналу. Розробка, тестування та впровадження сучасних концепцій «розумних міст» супроводжуються інтенсивними інтелектуальними навантаженнями, високою щільністю інформаційних потоків і, як наслідок, ризиком формування хронічних стресових станів. У зв'язку з цим виникає необхідність детального вивчення психологічних аспектів безпеки праці розробників.

За наявними статистичними даними у сфері безпеки життєдіяльності, ергономічні помилки та деструктивний вплив «людського фактора» виступають першопрчиною від 60% до 90% позаштатних і травмонебезпечних ситуацій на виробництві [44]. До базових детермінант такої закономірності належать:

- незадовільний рівень фахової підготовки у сфері культури безпеки;
- низький рівень сформованості індивідуальних засад безпечної поведінки;
- свідоме нівелювання регламентів безпеки або недостатня внутрішня мотивація до їх виконання;
- залучення до високотехнологічних процесів осіб із психофізіологічною схильністю до підвищеного ризику;
- зниження психофізичного тону (прояви астенії, хронічної втоми), що дезорганізує виконання професійних завдань.

Індивідуальна вразливість фахівця щодо генерування помилкових дій посилюється під впливом низки ендогенних факторів, серед яких: індивідуально-типологічні властивості вищої нервової діяльності (зокрема, особливості темпераменту); транзиторні порушення гомеостазу та соматичного стану;

латентні чи явні патології сенсорних систем (органів сприйняття), а також низький рівень професійної задоволеності.

Додатково ризики виробничого травматизму та ергономічних збоїв детерміновані безпосередньою специфікою робочого процесу ІТ-фахівців, а саме:

- високим когнітивним напруженням та тривалим статичним навантаженням;
- вимушеною неергономічною позою під час тривалого перебування за робочим місцем;
- високим темпом виконання мікрооперацій та жорстким лімітом часу;
- перманентним психоемоційним тиском, спричиненим дедлайнами;
- сенсорною деривацією або перевантаженням зорового та слухового аналізаторів;
- невідповідністю просторової геометрії робочої зони антропометричним характеристикам оператора.

Сукупна дія зазначених екзогенних чинників призводить до акумуляції фізичного та нервово-психічного виснаження. На фізіологічному рівні це проявляється гальмуванням швидкості сенсомоторних реакцій, зниженням точності координації рухів, звуженням обсягу та концентрації уваги, що унеможливорює адекватну когнітивну оцінку поточної ситуації та максимізує ймовірність помилок.

У межах психології безпеки праці базовим об'єктом аналізу виступають психічні властивості, процеси та стани, які безпосередньо індукуються трудовою діяльністю [45]. Психічні процеси, що забезпечують формування професійного досвіду, класифікують за трьома категоріями:

- Пізнавальні (когнітивні): сенсорне сприйняття, аналітичне мислення, пам'ять.
- Емоційні: суб'єктивні почуття, емоційні переживання та стресові реакції.
- Вольові: цілеспрямованість дій, самоконтроль, здатність до вольової мобілізації.

Якщо психічні властивості (архітектоніка інтелекту, риси характеру, тип темпераменту) є стабільними інваріантними характеристиками особистості, то психічні стани мають динамічний характер і безпосередньо визначають поточну операційну ефективність суб'єкта праці.

Емпіричні дослідження доводять, що продуктивність праці перебуває у нелінійній залежності від рівня психічного напруження. Помірне підвищення напруження відіграє мобілізуючу роль, активуючи резерви організму. Проте при досягненні екстремального порогу («точки перегину») настає етап декомпенсації, що супроводжується різким зниженням результативності або функціональною неспроможністю продовжувати роботу.

У психологічній практиці виокремлюють два типи позамежного (критичного) напруження:

– Гальмівний тип: супроводжується загальним пригніченням психомоторних функцій. Спостерігається рухова та когнітивна ригідність, уповільнення процесів мислення, погіршення оперативної пам'яті та деконцентрація уваги. Раніше автоматизовані професійні навички втрачають точність та чіткість.

– Збудливий тип: маніфестує гіперактивністю та хаотичністю дій. Проявляється у вигляді метушливості, появи дрібного тремору кінцівок, логореї (багатомовності) та реалізації зайвих, нераціональних рухів. Емоційний фон стає лабільним: фіксуються нетипові спалахи дратівливості, агресивності у комунікації та надмірна сенситивність (вразливість).

Екстремальні рівні психічного напруження виступають тригерами помилкових дій в аварійних ситуаціях, що детермінує підвищення аварійності. Серед психопатологічних станів, що найбільше загрожують надійності людини як ланки складної системи, виділяють пароксизмальні розлади свідомості та психогенні зміни настрою. Перші характеризуються транзиторними епізодами затьмарення або втрати свідомості, що вимагає суворих медичних обмежень щодо допуску таких осіб до виконання завдань у зонах підвищеного ризику.

Психогенні зміни емоційного стану формуються як деструктивна відповідь на зовнішні психотравмуючі чинники:

– Депресивні стани та апатія супроводжуються загальним зниженням когнітивного потенціалу, уповільненням мислення та виникненням індиферентності до результатів діяльності, що суттєво послаблює механізми самоконтролю.

– Афективні реакції мають характер короткочасних, проте інтенсивних емоційних спалахів, за яких відбувається звуження свідомості, що провокує імпульсивні, некеровані та руйнівні дії.

Рівень безпеки праці також перебуває у прямій залежності від екзогенного хімічного впливу на центральну нервову систему. Вживання алкогольних та наркотичних речовин призводить до грубого спотворення сприйняття об'єктивної реальності, що критично збільшує травматизм. Використання психостимуляторів (навіть побутових, як-от кофеїн) здатне лише короткочасно компенсувати сонливість, тоді як їх надмірне споживання викликає інверсний ефект – глибинне виснаження нервової системи. Застосування транквілізаторів, попри їхню анксиолітичну дію, має виражені побічні ефекти у вигляді когнітивної загальмованості, млявості та зниження швидкості психомоторних реакцій, що є недопустимим для операторської та розробницької діяльності.

Особливе значення для безпеки виробничого середовища має превенція алкогольного сп'яніння. Статистично доведено, що від 40% до 60% дорожньо-транспортних пригод та близько 64% смертельних випадків на виробництві спричинені безпосередньо станом сп'яніння або деструктивними діями осіб, які перебували під впливом алкоголю.

Додаткову небезпеку становить стан післяалкогольної астенії (абстинентний синдром). Навіть за умов повної елімінації метаболітів етанолу з організму, похмільний синдром викликає глибоку дезорганізацію вищої нервової діяльності, що проявляється різким падінням працездатності, психомоторною ретардацією (загальмованістю) та суттєвим притупленням почуття самозбереження і сприйняття небезпеки.

Хронічне зловживання алкоголем викликає стійкі патологічні зміни особистості, що супроводжуються інтелектуально-мнестичним дефіцитом та

морально-етичною деградацією. Для осіб із хронічною залежністю характерні такі стійкі професійні деформації:

- прогресуюче зниження точності, акуратності та концентрації уваги під час реалізації завдань;
- зростання частоти та щільності системних технічних помилок;
- втрата здатності до аналітичного мислення та вирішення складних, багатокритеріальних професійних задач;
- повна деструкція навичок швидкої адаптації та прийняття раціональних компромісних рішень в умовах розвитку нештатних або аварійних ситуацій.

4.2 Організація безпечних умов праці під час розробки та моделювання цифрових послуг «розумного міста»

Кваліфікаційна робота ступеня «Магістр» присвячена вирішенню науково-практичної задачі з багатокритеріальної оптимізації програмних модулів для управління цифровими послугами розумного міста. Специфіка реалізації цього проєкту передбачає тривалу безперервну роботу дослідника (розробника) за комп'ютерним та серверним обладнанням, що зумовлює необхідність суворого дотримання не лише ергономічних та санітарно-гігієнічних норм, але й комплексного забезпечення безпеки життєдіяльності під час експлуатації електронно-обчислювальної техніки. У зв'язку з цим актуальним є аналіз чинників, які гарантують захист здоров'я оператора, запобігають виробничому травматизму, аварійним ситуаціям чи виникненню пожеж, а також регламентують порядок дій у разі виникнення загрози.

Початковим етапом організації робочого простору є його облаштування відповідно до чинних нормативних вимог з електробезпеки [46]. Комп'ютерна техніка, засоби відображення інформації, системні блоки та периферійні пристрої мають бути підключені до сертифікованих точок електромережі, оснащених контуром захисного заземлення. Для нівелювання ризиків, пов'язаних із нестабільністю параметрів мережі живлення, обов'язковим є використання пристроїв захисту від перенапруги та джерел безперебійного

живлення. Недопустимим є критичне навантаження електромережі через одночасне підключення надмірної кількості енергоємного обладнання до одного джерела.

Перед початком робочої сесії здійснюється обов'язковий візуальний контроль цілісності ізоляції кабелів живлення, справності комутаційних елементів та відсутності ознак термічного пошкодження чи деформації корпусів. Будь-які сервісні чи інженерні маніпуляції з внутрішніми апаратними компонентами обчислювальної техніки (модернізація, заміна комплектуючих тощо) дозволяється проводити виключно після повного фізичного знеструмлення пристроїв, що мінімізує ймовірність ураження електричним струмом або виникнення короткого замикання.

Поряд з електробезпекою вагоме значення має превентивний комплекс заходів із пожежної безпеки. Експлуатація високопродуктивних обчислювальних систем під час математичного моделювання, ентропійного аналізу великих масивів міських даних, контейнеризації та довготривалої компіляції алгоритмів VIKOR супроводжується значним виділенням тепла апаратною частиною. За умов неефективної роботи або відмови елементів системи охолодження це може призвести до критичного перегріву компонентів.

Відтак, архітектура робочого місця повинна забезпечувати безперешкодну природну або примусову вентиляцію повітря навколо обладнання. У зоні розташування техніки не допускається накопичення легкозаймистих матеріалів (паперових носіїв, текстилю, тари), які можуть виступати провідниками вогню у разі іскріння чи аварійного термодеструктивного процесу всередині технічних засобів.

Розробник повинен чітко володіти алгоритмом дій у разі виявлення перших ознак технічної несправності, а саме:

- нетипового шуму (тріскоту) всередині корпусів;
- появи специфічного запаху тліючої ізоляції, гару або диму.

За наявності таких симптомів оператор зобов'язаний негайно припинити обчислювальні процеси, деактивувати подачу електроживлення на робоче місце, сповістити відповідальних осіб підрозділу і, за необхідності, задіяти первинні

засоби пожежогасіння чи здійснити евакуацію згідно з затвердженим планом. Рівень теоретичної підготовки та швидкість реакції персоналу є визначальними компонентами загальної безпеки життєдіяльності [47].

Ергономічна організація простору також передбачає раціональне кабельне менеджментування. Інтерфейсні шнури та силові кабелі мають бути упорядковані за допомогою спеціальних захисних коробів або стяжок. Не допускається їхнє хаотичне перехрещення та розміщення в зонах транзитного проходу персоналу, що усуває ризики механічного зачеплення, пошкодження ліній зв'язку та випадкового травмування працівників.

Окремим аспектом безпеки є психофізіологічна підготовка розробника до дій в умовах нештатних чи аварійних ситуацій, що дозволяє уникнути панічних проявів та стресу. Чітке розуміння послідовності дій щодо локалізації технічних аварій та безпечного залишення небезпечної зони є запорукою збереження здоров'я.

Окрім ендогенних техногенних чинників, на загальний профіль безпеки суттєво впливають екзогенні фактори навколишнього середовища. В умовах триваючої повномасштабної воєнної агресії проти України, інфраструктурний комплекс країни зазнає системних руйнувань, що генерує додаткові ризики у вигляді нестабільності або тривалої відсутності централізованого енергопостачання, а також виникнення безпосередньої загрози життю через обстріли об'єктів цивільної інфраструктури. Це вимагає впровадження особливих протоколів безпеки, завчасного планування алгоритмів дій під час сигналів повітряної тривоги, визначення маршрутів до найближчих укриттів та забезпечення автономності робочого процесу [48].

Концептуальним базисом організації будь-якої професійної діяльності є визнання життя та здоров'я людини найвищою соціальною цінністю. Створення стійкого, безпечного та технічно збалансованого робочого середовища (шляхом правильної комутації пристроїв, забезпечення належного теплообміну, раціонального планування робочої зони та високої інформованості щодо протиаварійних дій) дозволяє нівелювати вплив негативних факторів. Такий підхід не лише мінімізує ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій, але й

підтримує стабільну працездатність дослідника, створюючи надійну основу для успішного виконання науково-міського магістерського проєкту.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано психологічні та психофізіологічні чинники безпеки праці під час моделювання систем розумного міста. Розглянуто процес організації безпечних умов праці під час розробки та моделювання цифрових послуг «розумного міста».

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі освітнього рівня «Магістр» на основі аналізу інформаційно-технологічних засад концепції «Розумне місто» та інженерії ознак досліджено й обґрунтовано комплексну оптимізаційну модель, що дає можливість формалізувати та структурувати багатокритеріальний простір оцінювання цифрових муніципальних сервісів.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- Подано опис концепту «Розумне місто».
- Розглянуто інформаційно-технологічні основи цифрових послуг.
- Проведено аналітичний огляд наукових публікацій в галузі цифрових послуг «розумних міст».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Висвітлено процеси прийняття рішень для потреб цифрових послуг «розумного міста».
- Досліджено методології багатокритеріального прийняття рішень цифрових послуг «розумного міста».
- Обґрунтовано відбір ознак для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».
- Описано інженерію ознак багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».
- Обґрунтовано вибір критеріїв оптимізації цифрових послуг «розумного міста».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано використання методу ентропії для багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста».
- Здійснено пріоритезацію альтернатив багатокритеріальної оптимізації цифрових послуг «розумного міста» за допомогою методології VIKOR.
- Виконано аналіз отриманих результатів.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано психологічні та психофізіологічні чинники безпеки праці під час моделювання систем розумного міста. Розглянуто процес організації безпечних умов праці під час розробки та моделювання цифрових послуг «розумного міста».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Choi, H.-S., & Song, S.-K. (2022). Direction for a transition toward smart sustainable cities based on the diagnosis of smart city plans. *Smart Cities*, 6(1), 156–178. <https://doi.org/10.3390/smartcities6010009>
- 2 Morello, R., Mukhopadhyay, S. C., Liu, Z., Slomovitz, D., & Samantaray, S. R. (2017). Advances on sensing technologies for smart cities and power grids: A review. *IEEE Sensors Journal*, 17(23), 7596–7610. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2735539>
- 3 Kanaya, T., Nakao, A., Yamamoto, S., Oguchi, M., & Yamaguchi, S. (2020). Edge computing for IoT sensors based on DPN. 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-Taiwan), 1–2. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Taiwan49838.2020.9258322>
- 4 Astrain, J. J., Falcone, F., Lopez-Martin, A. J., Sanchis, P., Villadangos, J., & Matias, I. R. (2021). Monitoring of electric buses within an urban smart city environment. *IEEE Sensors Journal*, 22(12), 11364–11372. <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278791>
- 5 Khawaja, S., & Javidroozi, V. (2023). Blockchain technology as an enabler for cross-sectoral systems integration for developing smart sustainable cities. *IET Smart Cities*, 5(3), 151–172. <https://doi.org/10.1049/smc2.12059>
- 6 Joyce, A., & Javidroozi, V. (2024). Smart city development: Data sharing vs. data protection legislations. *Cities*, 148, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104859>
- 7 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y. Formation of hypercubes based on data obtained from IoT devices // *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control*. 2021. Vol. 11(5). P. 498–504. DOI: 10.2174/2210327910999201210145151.
- 8 Al Amin, A., Hong, J., Bui, V.-H., & Su, W. (2023). Emerging 6G/B6G wireless communication for the power infrastructure in smart cities: Innovations, challenges, and future perspectives. *Algorithms*, 16(10), 474. <https://doi.org/10.3390/a16100474>

9 Hosseini, F., Ahmadi, A., Hassanzade, H., Gharedaghi, S., Rassouli, F. B., & Jamialahmadi, K. (2024). Inhibition of melanoma cell migration and invasion by natural coumarin auraptene through regulating EMT markers and reducing MMP-2 and MMP-9 activity. *European Journal of Pharmacology*, 971, 176517. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2024.176517>

10 Najafi, B., Najafi, A., Madanchi, F., Maghroor, H., & Taherdoost, H. (2024). The Impact of Cutting-Edge Technologies on Smart City Supply Chain: A Systematic Literature Review of the Evidence and Implications. *IEEE Engineering Management Review*. <http://dx.doi.org/10.1109/EMR.2024.3373502>

11 Azad, M., Hosseini, F., Hassanzade, H., Gharedaghi, S., Mahdipour, E., Rassouli, F. B., & Jamialahmadi, K. (2024). Galbanic acid suppresses melanoma cell migration and invasion by reducing MMP activity and downregulating N-cadherin and fibronectin. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00210-024-02981-4>

12 Vaskiv R. I., Hrybovskyi O. M., Kunanets N. E., Duda O. M. Information system of street lighting control in smart city // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2024. No. 3(70). P. 212–223. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-3-18.

13 Dashkevych, O., & Portnov, B. A. (2022). Criteria for smart city identification: A systematic literature review. *Sustainability*, 14(8), 4448. <https://doi.org/10.3390/su14084448>

14 Duda O., Stanko A. Architecture of monitoring platform in smart cities // *Вісник ХНУ*. 2023. No. 4. P. 10–19. DOI: 10.31891/2307-5732.

15 Pasichnyk S., Maga A., Kunanets N., Lozytskyi O., Petrushyna B., Duda O., Rybak A. Smart household interface design // *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2024. No. 15. P. 273–289. DOI: 10.23939/sisn2024.15.273.

16 Babić, A., & Zron, A. (2024). Business Intelligence Tools in the Interpretation of the Ranking of Smart Cities. 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), 211–217. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569892>

17 S. Mazetto, A review of urban digital twins integration, challenges, and future directions in smart city development, *Sustainability* 16 (19) (2024) 8337.

18 Ö.C. Yıldırım, D.G. Özer, A. Sungur, Route generator for integrating cultural heritage to smart city: Ontheroute, in: Euro-Mediterranean Conference, Springer, 2020, pp. 165–177.

19 S. Riffat, R. Powell, D. Aydin, Future cities and environmental sustainability, *Futur. Cities Environ.* 2 (2016) 1–23.

20 M. Dhingra, S. Chattopadhyay, Advancing smartness of traditional settlements: case analysis of Indian and Arab old cities, *Int. J. Sustain. Built Environ.* 5 (2) (2016) 549–563.

21 R. Sánchez-Corcuera, A. Nuñez-Marcos, J. Sesma-Solance, A. Bilbao-Jayo, R. Mulero, U. Zulaika, G. Azkune, A. Almeida, Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future, *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 15 (6) (2019) 1550147719853984.

22 Duda O., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A. Aggregation, Storing, Multidimensional Representation and Processing of COVID-19 Data // *Advances in Intelligent Systems and Computing V. CSIT 2020*. Springer, Cham, 2021. Vol. 1293. DOI: 10.1007/978-3-030-63270-0_60. ISSN 2194-5357, EISSN 2194-5365.

23 Orlov M. V., Hrybovskyi O. M., Zhovnir Y. I., Duda O. M. DevOps methodology in IoT ecosystems // *Вчені записки ТНУ*. 2024. Vol. 35(6). P. 163–170. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.6.2/22.

24 F. Franchi, F. Graziosi, E. Di Fina, A. Galassi, A survey of cloud-enabled GIS solutions toward edge computing: Challenges and perspectives, *IEEE Open J. Commun. Soc.* (2023).

25 X. Bai, M. Cao, W. Yan, S.S. Ge, Efficient routing for precedence-constrained package delivery for heterogeneous vehicles, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 17 (1) (2019) 248–260.

26 Y. Sun, H. Song, A.J. Jara, R. Bie, Internet of things and big data analytics for smart and connected communities, *IEEE Access* 4 (2016) 766–773.

27 Kiritat, O. Krejcar, A. Kertesz, M.F. Tasgetiren, Future trends and current state of smart city concepts: A survey, *IEEE Access* 8 (2020) 86448–86467.

28 L. Vidiiasova, P. Kachurina, F. Cronemberger, Smart cities prospects from the results of the world practice expert benchmarking, *Procedia Comput. Sci.* 119 (2017) 269–277.

29 E.G. Lima, C.K. Chinelli, A.L.A. Guedes, E.G. Vazquez, A.W. Hammad, A.N. Haddad, C.A.P. Soares, Smart and sustainable cities: The main guidelines of city statute for increasing the intelligence of Brazilian cities, *Sustainability* 12 (3) (2020) 1025.

30 Ullah, Inam, et al. "Optimizing smart city services by utilizing appropriate characteristics of digital twin for urban excellence." *Alexandria Engineering Journal* 122 (2025): 399-410.

31 Zhovnir Y. I., Hrybovskyi O. M., Orlov M. V., Duda O. M., Kunanets N. E. IoT information systems methodology // *Управління розвитком складних систем*. 2024. Vol. 60. P. 56–71. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.56-70.

32 N.U. Huda, I. Ahmed, M. Adnan, M. Ali, F. Naeem, Experts and intelligent systems for smart homes' transformation to sustainable smart cities: A comprehensive review, *Expert Syst. Appl.* 238 (2024) 122380.

33 S. Chen, H. Xu, D. Liu, B. Hu, H. Wang, A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective, *IEEE Internet Things J.* 1 (4) (2014) 349–359.

34 R. Wolniak, K. Stecuła, Artificial intelligence in smart cities–Applications, barriers, and future directions: A review, *Smart Cities* 7 (3) (2024) 1346–1389.

35 X. Ji, L. Shao, The application of landscape infrastructure approaches in the planning of heritage corridor supporting system, *Procedia Eng.* 198 (2017) 1123–1127.

36 T. Monfaredzadeh, R. Krueger, Investigating social factors of sustainability in a smart city, *Procedia Eng.* 118 (2015) 1112–1118.

37 I.V. Lokshina, M. Greguš, W.L. Thomas, Application of integrated building information modeling, IoT and blockchain technologies in system design of a smart building, *Procedia Comput. Sci.* 160 (2019) 497–502.

38 Ullah, S.M. Anwar, J. Li, L. Nadeem, T. Mahmood, A. Rehman, T. Saba, Smart cities: The role of internet of things and machine learning in realizing a data-centric smart environment, *Complex Intell. Syst.* 10 (1) (2024) 1607–1637.

- 39 D. Arribas-Bel, K. Kourtit, P. Nijkamp, J. Steenbruggen, Cyber cities: social media as a tool for understanding cities, *Appl. Spat. Anal. Policy* 8 (2015) 231–247.
- 40 Perles, E. Pérez-Marín, R. Mercado, J.D. Segrelles, I. Blanquer, M. Zarzo, F.J. Garcia-Diego, An energy-efficient internet of things (IoT) architecture for preventive conservation of cultural heritage, *Future Gener. Comput. Syst.* 81 (2018) 566–581.
- 41 Ullah, A. Noor, S. Nazir, F. Ali, Y.Y. Ghadi, N. Aslam, Protecting IoT devices from security attacks using effective decision-making strategy of appropriate features, *J. Supercomput.* 80 (5) (2024) 5870–5899.
- 42 M. Ma, S.M. Preum, M.Y. Ahmed, W. Tärneberg, A. Hendawi, J.A. Stankovic, Data sets, modeling, and decision making in smart cities: A survey, *ACM Trans. Cyber- Phys. Syst.* 4 (2) (2019) 1–28.
- 43 H.U. Khan, M. Abbas, O. Alruwaili, S. Nazir, M.H. Siddiqi, S. Alanazi, Selection of a smart and secure education school system based on the internet of things using entropy and TOPSIS approaches, *Comput. Hum. Behav.* (2024) 108346.
- 44 Ткачук, К. Н., Зацарний, В. В., Зеркалов, Д. В., Полукаров, О. І., Коз'яков, В. С., Мітюк, Л. О., ... & Луц, Т. Є. (2014). Основи охорони праці.
- 45 Левченко, О. Г. (2024). Охорона праці та цивільний захист.
- 46 Бойко, С. М., and О. В. Кобилянський. Формування компетентності з електробезпеки майбутніх фахівців у процесі навчання. Diss. ВНТУ, 2025.
- 47 Курепін, Вячеслав Миколайович. "Безпека життєдіяльності." (2025).
- 48 Гурик, Олег Ярославович, et al. "Вплив воєнної агресії Росії на екосистему та безпеку життєдіяльності." Збірник тез V Міжнародної наукової конференції „Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки“ (2025): 87-89.

ДОДАТКИ

Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XI Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
7-8 грудня 2022 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2022

Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
 «**АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**» – Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року

УДК 001

A43

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 202.

ISBN 978-617-7875-49-8

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Митник Микола Мирославович – к.т.н., доцент, Ректор ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Заступник голови: Марущак Павло Орестович – д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Вчений секретар: Дозорський Василь Григорович – к.т.н., доц. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Члени: Вухерер Т. – професор факультету інженерної механіки Маріборського університету (Словенія); Вінаш Я. – професор кафедри технології металів Технічного університету у Кошице (Словаччина); Прентковскіс О. – декан факультету Вільнюського технічного університету ім. Гедимінаса (Литва); Стахович Ф. – завідувач кафедри обробки матеріалів тиском Жешувського політехнічного університету ім. Лукасевича (Польща); Мену А. – д.т.н., професор Міжнародного університету цивільної авіації (Марокко); Андрейків О. – д.т.н., професор кафедри механіки Львівського національного університету ім. І. Франка, член-корр. НАН України.

Адреса оргкомітету:

ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,

тел. **0506689327**, факс (0352) 255798

E-mail: confmolstud@gmail.com

Редагування, оформлення, верстка: Дозорський В.Г.

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- фізико-технічні основи розвитку нових технологій;
- нові матеріали, міцність і довговічність елементів конструкцій;
- сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні;
- сучасні технології на транспорті;
- електротехніка та енергозбереження;
- фундаментальні проблеми харчових, біо- та нанотехнологій;
- економічні та соціальні аспекти нових технологій;
- комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку.

23. А.М. Паламар, Ю.А. Гук	КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	147
24. Д.Р. Колісник, Д.В. Мидлик, І.Ю. Дедів, Л.Є. Дедів	ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ	148
25. С.Р. Пискальний, Б.В. Сарняк, І.Ю. Дедів	ЗАДАЧА УЩІЛЬНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	149
26. М.П. Мотелюк, С.Т. Боїло, І.Ю. Дедів, В.Г. Дозорський	МЕТОДИ ОБРОБКИ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ БЕЗПЕКОВИХ СИСТЕМ	150
27. Б.Є Томс, Г.П. Химич	ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ У МІСЬКИХ УМОВАХ	151
28. А.О. Naida, L.B. Moroz	DATAFICATION: THE PROBLEM BENEATH THE SURFACE	153
29. О.В. Палка	МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА	155
30. О.В. Палка	ІНТЕГРОВАНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА З БЛОКЧЕЙНОМ ТА ІОТ	157
31. І. Гунчак, Г. Химич	ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З СУПУТНИКОВИМИ СИСТЕМАМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ДРОНІВ	158
32. А.В. Атаманчук, І.Ю. Дедів	МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БПЛА З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	160
33. В.Л. Дунець, Н.І. Шилівський, О.Ю. Щирба, Д.О. Гуменюк, Т.В. Чиреський	АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ	162
34. В.В. Никитюк, к.т.н., О.Ф. Дозорська, к.т.н., А.К. Карнаухов	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТЕНТИФІКОВАНОГО ВХОДУ КОРИСТУВАЧІВ	163
35. С.В. Уніят, М.О. Хвостівський	АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРОБКИ ПУЛЬСОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ У КАРДІОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМАХ	164
36. Ю.Б. Капаціла, С.Р. Дідур	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	165
37. Н.А. Гарматюк, П.О. Скалецький, В.О. Дуда	ХМАРНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ТА MICROSOFT AZURE	167
38. Н.В. Лісовий, А.Р. Ставицька, А.В. Гіжовський	ХМАРНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЛАТФОРМИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ	168
39. П.О. Скалецький, Н.А. Гарматюк, В.О. Дуда	ПЕРЕНЕСЕННЯ ДАНИХ УСТАНОВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙ З ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ДО ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ	169
40. Р. Новчук, Р. Трач, Р. Трембач	АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	171

УДК 004.9

Н.В. Лісовий¹, А.Р. Ставицька², А.В. Гіжовський³

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

³ Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

ХМАРНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЛАТФОРМИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ

N.V. Lisovyi, A.R. Stavytka, A.V. Hizhovskiy

CLOUD INFORMATION TECHNOLOGY PLATFORMS FOR ANALYTICAL DATA PROCESSING

Зі стрімким розвитком інформаційних та комунікаційних технологій сучасний бізнес та підприємництво стають все більш керованими даними. Тому зростає потреба підтримки бізнесових та управлінських рішень сучасними методами аналітичного опрацювання даних. На даний час опубліковано обширний перелік результатів наукових досліджень щодо інформаційно-технологічних платформ аналізу даних у різноманітних господарських та виробничих секторах. Однак ключові характеристики, загальні висновки та рекомендації щодо використання цих платформ розосереджені по різних дослідженнях [1]. В процесі наукових розвідок встановлено, що на даний ще не опубліковано інформації щодо спроб систематично агрегувати та синтезувати особливості використання та характеристики загальнодоступних хмарних інформаційно-технологічних платформ аналітичного опрацювання даних. Адже дослідження засобів аналітичного опрацювання даних у бізнесових та виробничих секторах є популярною темою наукових досліджень впродовж останнього періоду часу.

Щоб ефективно зрозуміти хмарні платформи аналітичного опрацювання даних, важливо знати, які функціональні набори підтримуються, які інформаційні технології прийняті до використання, які інформаційно-технологічні шаблони архітектури застосовувалися та з якими перешкодами зіткнулися користувачі та дослідники в процесі їх експлуатації [2]. Розробники хмарних інформаційно-технологічних платформ стикаються з багатьма складнощами під час реалізації функцій та надання послуг в галузі аналітичного опрацювання даних. Окрім того, користувачі хмарних інформаційно-технологічних платформ при використанні інструментів аналітичного опрацювання даних стикаються з багатьма складнощами під час використання систем такого класу. Для цього доцільно провести поглиблений систематичний огляд літератури, який потрібно чітко зосередити на доменах хмарних інформаційно-технологічних платформ, зацікавлених сторонах, цілях, запроваджених та реалізованих інформаційних технологіях, властивостях даних і перешкодах щодо їх системного застосування. Виявлені особливості та складнощі використання хмарних аналітичних засобів допоможуть охарактеризувати різні інформаційно-технологічні платформи та прокладуть шлях для проведення подальших досліджень.

Література

1. Krisnawijaya, Ngakan Nyoman Kutha, et al. "Data analytics platforms for agricultural systems: A systematic literature review." *Computers and Electronics in Agriculture* 195 (2022): 106813.

2. . Varshney, Manasvi, Bharat Bhushan, and A. K. M. Haque. "Big Data Analytics and Data Mining for Healthcare Informatics (HCI)." *Multimedia Technologies in the Internet of Things Environment*, Volume 3. Springer, Singapore, 2022. 167-195.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



7–8 грудня 2022 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2022**

УДК 001
МЗ4

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Сергій Лупенко– докт. техн. наук, професор.

Співголови: Павло Марущак– докт. техн. наук, професор, проректор з наукової роботи.
Ігор Баран– канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Галина Семенишин– старший викладач.

Члени: докт. фіз.-мат. наук, професор Василь Кривень; докт. техн. наук, професор Ярослав Литвиненко; докт. техн. наук, професор Микола Карпінський; докт. фіз.-мат. наук, професор Михайло Петрик; канд. техн. наук, доцент Галина Осухівська; канд. пед. наук, доцент Жанна Баб'як; канд. техн. наук, доцент Наталія Загородна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Юрій Скоренький– канд. фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри фізики

Члени: канд. техн. наук, доцент Вячеслав Никитюк; канд. техн. наук, доцент Дмитро Михалик; канд. техн. наук, асистент Марія Стадник; асистент Наталія Шаблій; ст. викладач Ліліана Джиджора.

Матеріали X науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології»
МЗ4 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
(Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.) – Тернопіль : Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2022. –162 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 254983.

E-mail: confis2022@gmail.com

Редагування, оформлення та верстка: Галина Семенишин

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання;
- Інформаційні системи та технології;
- Комп'ютерні системи та мережі;
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем;
- Новітні фізико-технічні та освітні технології.

В збірнику надруковано тези доповідейIX науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

УДК 004.9

Н. Лісовий, А. Ставицька, А. Гіжовський

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

(Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна)

АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ЗА ОБСЯГОМ ДАНИХ

UDC 004.9

N. Lisovyi, A. Stavytska, A. Hizhovskiy

LARGE DATA VOLUMES ANALYTICAL PROCESSING

Впродовж останнього періоду часу експоненційно зростають обсяги цифрових даних, що створені засобами різноманітних IoT-пристроїв та інформаційно-технологічних платформ. Це зростання відбувається завдяки недавньому розвитку інформаційних та комунікаційних технологій та їх активному впровадженню у практично всі сфери людської діяльності. Зокрема, збільшенням кількості інтелектуальних пристроїв, що генерують дані з інтегрованими датчиками та виконавчими механізмами, які підключені засобами глобальних загальнодоступних хмарних сервісів, збільшенням кількості користувачів Інтернету, активним запровадженням інформаційних технологій з елементами віртуальної та доповненої реальності, розвитком мобільного зв'язку 5G, популяризацією соціальних мереж, збільшення транзакцій електронної комерції тощо. Станом на грудень 2020 року обсяг щоденних цифрових даних у всьому світі становив 59 зетабайт. За прогнозами фахівців очікується, що в 2024 році він досягне 149 зетабайт [1], оскільки людство переходить в майбутнє, яке буде більше керуватися даними.

Інтелектуальні технології аналітичного опрацювання «Великих даних» активно використовуються при розбудові «розумних міст» з інтегрованими інформаційними системами керування дорожнім рухом, які автоматично оптимізують транспортні потоки, системами моніторингу характеристик навколишнього середовища, які оновлюють дані щодо його забруднення в режимі реального часу та прогнозують зміну якості повітря та води, раціоналізованим та автоматизованим збиранням сміття та побутових відходів, інтелектуальними системами паркування транспортних засобів у густонаселених містах [2]. Вибухове зростання обсягів накопичуваних даних сформувало обширний перелік задач, пов'язаних з оперативним збиранням даних, ефективним їх зберіганням, пошуком, обробкою та поданням через зростання характеристик обсягу, різноманітності та швидкості даних. Процеси видобування знань або виявлення корисних шаблонів у великих за обсягом наборах та колекціях даних на даний час потребують величезних обчислювальних ресурсів, розвиненої та розгалуженої інформаційно-технологічної інфраструктури та кваліфікованих фахівців в галузі аналітики даних та є актуальним напрямком сучасних наукових досліджень.

Література

1. Holst, A. «Amount of information globally 2010–2024.» Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-datacreated/#:~:text=The%20total%20amount%20of%20data,ever%2Dgrowing%20global%20data%20sphere>. Erişim Tarihi 27 (2020): 2020.
2. Khan, Shahbaz. «Barriers of big data analytics for smart cities development: a context of emerging economies.» International Journal of Management Science and Engineering Management 17.2 (2022): 123–131.

О. Кравчук РОЗРОБКА ТЕЛЕГРАМ БОТІВ НА PYTHON	
O. Kravchuk DEVELOPMENT OF TELEGRAM BOTS IN PYTHON	29
Н. Лісовий, А. Ставицька, А. Гіжовський АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ЗА ОБСЯГОМ ДАНИХ	
N. Lisovyi, A. Stavyt'ska, A. Hizhovskiy LARGE DATA VOLUMES ANALYTICAL PROCESSING	30
Н. Шаблій, П. Марценюк СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ	
N. Shablii, P. Martseniuk ENVIRONMENTAL STATE MONITORING SYSTEMS	31
Р. Маслій СИСТЕМА БЕЗПЕКИ ДЛЯ ІОТ З ВИКОРИСТАННЯМ SIEM ТЕХНОЛОГІЙ	
R. Maslii SECURITY SYSTEM FOR IOT USING SIEM TECHNOLOGIES	32
А. Блавицький, С. Мацюк, С. Криськова ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПЛАТЕЖУ	
A. Blavitskiy, S. Matsiuk, S. Kryskova PAYMENT LIFE CYCLE	33
М. Мокрицький, Ю. Скоренький ДОСЛІДЖЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ НЕЙРОІНТЕРФЕЙСІВ	
M. Mokrytskiy, Yu. Skorenkiy STUDY OF BRAIN-COMPUTER INTERFACES VULNERABILITY	34
Г. Мушинська, Л. Дмитроца АНАЛІТИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ЧАТ-БОТА	
H. Mushynska, L. Dmytrotsa CHAT BOT OPTIMIZATION ANALYTICS	35
К. Николін РОЗВІДКА ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ БЕЗПЕКИ БІЗНЕСУ	
K. Nykolyn OPEN SOURCE INTELLIGENCE FOR IDENTIFYING BUSINESS SECURITY THREATS	36
Т. Патральський ТРАНСФОРМАЦІЯ ДАНИХ У НАСТРОЮВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ЗВІТИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ПАНЕЛІ LOOKER STUDIO	
T. Patralskiy DATA TRANSFORMATION INTO CUSTOMIZABLE INFORMATION REPORTS AND INFORMATION PANELS LOOKER STUDIO	37
Ю. Петришин СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТУ, МОДЕЛЬ ISO 27001	
Yu. Petryshyn MANAGEMENT SYSTEMS, ISO 27001 MODEL	38
П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, «ВЕЛИКІ ДАНІ» ТА АНАЛІТИКА. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
P. Pryima, A. Zavialova, V. Duda THE INTERNET OF THINGS, BIG DATA AND ANALYTICS. RESEARCH STATUS AND PROSPECTS	39
П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ «ВЕЛИКИХ ДАНИХ»	
P. Pryima, A. Zavialova, V. Duda TOOLS FOR BIG DATA ANALYTICAL PROCESSING	40

Міністерство освіти і науки України,
 Тернопільський національний технічний університет
 імені Івана Пулюя
 Маріборський університет (Словенія)
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)
 Каунаський технологічний університет (Литва)
 Львівський національний університет
 імені Івана Франка,
 Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
 Луцький національний технічний університет,
 Чернівецький національний університет
 імені Юрія Федьковича,
 Вроцлавський економічний університет (Польща)
 Університет технологій та економіки
 імені Хелени Ходковської (Польща)
 Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове
товариство*



VI МІЖНАРОДНА
студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ
НАУКИ.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

27-28 квітня 2023 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2023

ББК 72+34 (Укр)
М34

Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.- 348 с.

В збірнику друкуються матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції. Тернопіль. – ТНТУ ім. І. Пулюя (27-28 квітня 2023 р.) за наступними науковими напрямками:

культура і мистецтво; гуманітарні науки; соціальні та поведінкові науки; управління та адміністрування; природничі науки; математика та статистика; інформаційні технології; механічна інженерія; електрична інженерія; автоматизація та приладобудування; хімічна та біоінженерія; електроніка та телекомунікації; виробництво та технології; архітектура та будівництво; аграрні науки та продовольство; сфера обслуговування; транспорт.

Редакційна колегія:

д.е.н. Богдан Андрушків, д.т.н. Олег Ляшук, д.т.н. Ігор Стадник, д.ф.н. Анатолій Довгань, д.ф.н. Андрій Криськов, д.т.н. Володимир Андрійчук, д.т.н. Анатолій Лупенко, д.т.н. Сергій Лупенко, д.т.н. Ігор Луців, к.ф.-м.н. Михайло Михайлишин, д.т.н. Михайло Пилипець, к.ф.н. Василь Ніконенко, д.т.н. Роман Рогатинський, д.т.н. Петро Стухляк, д.т.н. Михайло Паламар, д.е.н. Наталія Кирич, д.т.н. Микола Підгурський, д.т.н., Микола Приймак, д.т.н. Василь Васильків, д.б.н. Володимир Юкало, д.б.н. Олег Покотило, д.т.н. Богдан Яворський, к.ф.-м.н. Борис Шелестовський, д.ф.-м.н. Василь Кривень, д.т.н. Павло Маруцак, д.е.н. Олена Панухник, д.е.н. Володимир Фалович, д.т.н. Тетяна Вітенько, д.т.н. Чеслав Пулька, д.т.н. Віктор Барановський, д.ф.-м.н. Михайло Петрик, д.е.н. Роман Шерстюк.

Комп'ютерний набір, верстка та редагування:
науковий секретар Ігор Окіпний

Адреса конференції:

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

e-mail: snt@tntu.edu.ua

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

УДК 004.9

Гарматюк Н. – асп., Лісовий Н. – ст. гр. СНс-32, Дуда В. – ст. гр. СН-11
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ «РОЗУМНИХ» МІСТ

Науковий керівник: к.т.н., доц. Дуда О.М.

Harmatiuk N., Lisovyi N., Duda V.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES ROLE IN THE SMART CITIES FORMATION

Supervisor: Ph.D., Dr. Duda O.M.

Ключові слова: інновації, інформаційні технології, розумне місто.

Key words: innovations, information technologies, smart city.

Очікується, що до 2050 року населення світу зросте приблизно до 9,8 мільярда людей. При цьому прогнозується, що приблизно 6,7 мільярда громадян будуть жити в містах [1]. За прогнозами ООН, очікується, що до 2030 року буде понад сорок мегаполісів з населенням понад десять мільйонів жителів і вони споживатимуть понад 81% усіх світових ресурсів [2].

Тенденція розвитку сучасних міст – це перехід до більшого рівня «розумності». Вона проявляється розширенні процесів впровадження та інтеграції обширної множини інформаційних та комунікаційних технологій. Зокрема, хмарні обчислення, Інтернет речей (IoT) та інші інформаційно-технологічні інструменти, призводять до підвищення рівня «розумності» сучасних міст. Хоча опубліковано обширний перелік результатів досліджень, на даний час немає усталеного підходу до формування інформаційно-технологічного та соціо-комунікаційного концепту «розумного» міста. Тому наукові розвідки в царині «розумних» міст є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Інновації в сучасних містах можна умовно розділити на три основні категорії: «розумні» цифрові технології, покращення умов життя та підвищення екологічних характеристик довкілля. Найпопулярніша серед цих категорій – «розумні» цифрових технології. Водночас «екологічні» характеристики довкілля досліджуються відносно рідше. Згідно досліджень [3] лише близько половини критеріїв «розумності» міст, які використовуються в емпіричних дослідженнях, стосуються потреб міських жителів, а решта є загальними технологічними характеристиками. Автори наголошують, що «Розумне місто – це місто, в якому збалансовано економічні, екологічні та суспільні досягнення для покращення добробуту мешканців шляхом широкого впровадження інформаційних, комунікаційних та інших технологічних інструментів» [3]. Згідно з цим визначенням, певна міська інноваційна сутність наприклад, інтелектуальні давачі або покращений моніторинг процесів, сприяє підвищенню «розумності» міста, лише якщо вона покращує якість життя (англ. Quality of Life, QoL) громадян. Концепція сталого розвитку потребує збалансованості соціальних, економічних та екологічних цілей розвитку.

Література

[1] Ritchie, H.; Roser, M. Urbanization. Our World in Data. 2018. URL: <https://ourworldindata.org/urbanization>.

[2] Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. 2018 United Nations Report. URL: <https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report>.

[3] Dashkevych, Oleg, and Boris A. Portnov. Criteria for Smart City Identification: A Systematic Literature Review. Sustainability 14.8 (2022): 4448.

УДК 004.9

Скалецький П. – аспірант, Лісовий Н. – ст. гр. СНс-32, Гіжовський А.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

МОБІЛЬНІ ЗАСТОСУНКИ ТА РОЗВИТОК «РОЗУМНИХ» МІСТ

Науковий керівник: к.т.н., доц. Дуда О.М.

Skaletskyi P., Lisovyi N., Hizhovskiy A.
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

MOBILE APPLICATIONS AND SMART CITIES DEVELOPMENT

Supervisor: Ph.D., Dr. Duda O.M.

Ключові слова: інформаційні технології, розумне місто, web 3.0.
 Key words: information technologies, smart city, web 3.0.

На даний час практично всі інформаційні сутності взаємопов'язані через Інтернет. Завдяки широкосмуговому підключенню до Інтернет, інтерактивні послуги поширюються практично в усіх доменах людської діяльності. Водночас, завдяки портативності та обширному переліку доступних функцій стали популярними смартфони. А «розумні» лічильники енергії, «розумні» прилади та безпекові пристрої стали повсякденними. Це черговий етап процесу трансформації інноваційних інформаційно-технологічних проєктів «розумних» міст. Водночас неспроможність існуючої міської інфраструктури забезпечити прийнятні показники масштабованості, навколишнього середовища та безпеки зростають вимоги до критеріїв стійкості «розумних» міст [1]. Щоб покращити соціальну та економічну якість життя громадян, підвищити ефективність муніципальних служб та послуг потрібно будувати стійкіші «розумні» міста з використанням інноваційних інформаційних та комунікаційних технологій [2]. Відповідно, у процесі формування стійких «розумних» міст та для використання переваг та зручностей технологічного прогресу зростає потреба в розробці обширного переліку «розумних» пристроїв та застосунків.

Сучасні мобільні застосунки відіграють вагомую роль в інформаційних та комунікаційних технологіях. Щоб задовольнити зростаючі потреби жителів «розумних» міст, розробникам доводиться створювати застосунки для різних мобільних платформ, зокрема, Android та iOS. Це вимагає значних затрат часу та зусиль. Щоб зменшити застрати часу, розробники почали створювати мобільні програми за допомогою стандартних веб-технологій, зокрема CSS, HTML5, JavaScript, завдяки зручному перенесенню інтерфейсів з однієї платформи на іншу. На даний час, активно розвиваються мобільні застосунки розроблені таким способом. Щоб не відставати від швидкого розвитку інформаційних та комунікаційних технологій для побудови стійких «розумних» міст та залишатись конкурентноспроможними багато розробників пришивидшують процеси розроблення мобільних застосунків. Водночас безпекові аспекти часто ігноруються. Це призводить до збільшення безпекових ризиків та можливостей втрати конфіденційності мобільних застосунків [3].

Література

- [1] Hammi, Badis, et al. "Is it really easy to detect sybil attacks in C-ITS environments: a position paper." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 23.10 (2022): 18273-18287.
- [2] Chen, Yidan, and Fangfang Xu. "The optimization of ecological service function and planning control of territorial space planning for ecological protection and restoration." *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 35 (2022): 100748.
- [3] Kuppa, Koundinya, et al. "ConvXSS: A deep learning-based smart ICT framework against code injection attacks for HTML5 web applications in sustainable smart city infrastructure." *Sustainable Cities and Society* 80 (2022): 103765.

Галайчук В. ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАТ-БОТІВ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ У СУЧАСНОМУ СВІТІ	126
Галюк М., Тененський М. ВПЛИВ VRM ЗАСТОСУНКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВА	128
Гарматюк Н., Ставицька А., Гіжовський А. РОЗВИТОК ІНТЕРНЕТ ТА WEB 3.0	130
Гарматюк Н., Лісовий Н., Дуда В. РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ «РОЗУМНИХ» МІСТ	131
Гнатишин М. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕБ-РОЗРОБКИ	132
Гнатишин М. ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕБ-РОЗРОБКИ	134
Грабас С. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ	136
Грибанов І. СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ЦЕНТРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ORANGE PI PLUS 2E	139
Jhelizniak D. THE FUTURE OF WORK: HOW AUTOMATION AND AI ARE CHANGING THE WORKFORCE	141
Іващенко Є. ВИКОРИСТАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	143
Каплун М. РОЛЬ ІНТЕРНЕТ-КОМЕРЦІЇ В ЖИТТІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ	145
Каплун М. ПЕРЕВАГИ НАПИСАННЯ ВЛАСНОГО ЯДРА НА PHP8 НАД ВИКОРИСТАННЯМ ІСНУЮЧОГО РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ	147
Коваль М. КОНСЕНСУСНІ АЛГОРИТМИ В БЛОКЧЕЙНІ. ОПИС POW ТА POS	149
Ковальчук І. ВАЖЛИВІСТЬ БІЗНЕС-МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	151

Ковальчук І. ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАХИЩЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	152
Козачук К., Вітушинський А., Ковальський А. ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ 3D-МОДЕЛЕЙ ЛАБОРАТОРНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА	154
Крамар Т. ФОТОГРАММЕТРІЯ ПАМ'ЯТНИКІВ ІВАНУ ПУЛЮЮ	156
Крамар Т. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МУЗЕЙНИХ ЕКСПОЗИЦІЙ	158
Крисюк М. ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЯ «РОЗУМНОГО МІСТА» У МАЛОМУ ТА СЕРЕДНЬОМУ БІЗНЕСІ	159
Липак Т. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОБОТІ СУЧАСНИХ МУЗЕЇВ	160
Озіранець В. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ В BLENDER	161
Осійчук І. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ НА SCALA	163
Параїл О., Кожан О., Лесюк О. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ VR-ПРОСТОРУ ФІЗИЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	165
Романчук Р. ОСОБЛИВОСТІ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ STM32	167
Семак А. РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР У ФОРМУВАННІ КУЛЬТУРНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ ТА СОЦІАЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ	169
Сербін В. РОЛЬ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У РЕГУЛЮВАННІ ГУМАНІТАРНИХ КРИЗ	171
Серьогін В. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСВІДУ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ	173
Скалецький П., Лісовий Н., Гіжовський А. МОБІЛЬНІ ЗАСТОСУНКИ ТА РОЗВИТОК «РОЗУМНИХ» МІСТ	175