

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: Аналітичне опрацювання даних
розумних міст з використанням штучного інтелекту

Виконав: студент VI курсу, групи СНм-61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Ставицька А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тиш Є.В.

(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.
(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 Ставицькій Анастасії Романівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналітичне опрацювання даних розумних міст
з використанням штучного інтелекту

Керівник роботи Пасічник Володимир Володимирович, д.т.н., 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 28 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про використання методів та моделей штучного інтелекту для аналітичного опрацювання даних розумних міст

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

Вступ. 1 Концептуальні та науково-технологічні основи аналітичного опрацювання даних розумних міст засобами штучного інтелекту. 2 Штучний інтелект у розумних містах: огляд методів обробки, прогнозування та оптимізації міських даних. 3 Методи та моделі штучного інтелекту для управління ресурсами та інфраструктурою розумних міст 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент каф. МТ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Теслюк В.М., проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	13.04.2026	
2.	Підбір та опрацювання наукових публікацій, збір даних по темі роботи	13.04.2026-20.04.2026	
3.	Виконання дослідження згідно теми кваліфікаційної роботи	21.04.2026-03.05.2026	
4.	Оформлення розділу «Концептуальні та науково-технологічні основи аналітичного опрацювання даних розумних міст засобами штучного інтелекту»	04.05.2026-10.05.2026	
5.	Оформлення розділу «Штучний інтелект у розумних містах: огляд методів обробки, прогнозування та оптимізації міських даних»	04.05.2026-10.05.2026	
6.	Оформлення розділу «Методи та моделі штучного інтелекту для управління ресурсами та інфраструктурою розумних міст»	04.05.2026-10.05.2026	
7.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	27.04.2026-10.05.2026	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	27.04.2026-10.05.2026	
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	11.05.2026-13.05.2026	
10.	Нормоконтроль	14.05.2026	
11.	Перевірка на плагіат	15.05.2026	
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.05.2026	
13.	Захист кваліфікаційної роботи	28.05.2026	

Студент

(підпис)

Ставицька А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Аналітичне опрацювання даних розумних міст з використанням штучного інтелекту // Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «Магістр» // Ставицька Анастасія Романівна // 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. 83, рис. – 6, табл. – 8, додат. – 1, бібліогр. – 68.

Ключові слова: штучний інтелект, розумне місто, аналітичне опрацювання даних, машинне навчання, оптимізація міської інфраструктури, прогностична аналітика, етичний вплив, інтернет речей.

Кваліфікаційна робота присвячена аналітичному опрацюванню даних розумних міст з використанням ШІ. В першому розділі кваліфікаційної роботи описано концепт «розумного міста» як цифрового простору, де управління й мобільність базуються на аналітичному опрацюванні даних. Висвітлено науково-технологічні основи застосування ШІ в урбаністиці та розглянуто базові інформаційно-технологічні платформи міської інфраструктури. Також проаналізовано етичні принципи впровадження ШІ.

В другому розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано концептуальні моделі ШІ та їхній безпосередній вплив на аналітичне опрацювання міських даних. Описано специфіку використання методів обробки даних на основі ШІ для оптимізації спеціалізованих застосунків. На основі інструментів ШІ проведено прогностичну аналітику у міському плануванні, зокрема для моделювання транспортного трафіку, міського зростання та екологічного стану.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено класифікацію методів і технологій інтелектуального оброблення й прогнозування міських даних за чотирма категоріями. Спроектовано комплексний підхід до інтеграції інструментів збору, моніторингу та оптимізації гетерогенної інформації в усіх міських доменах. Шляхом тестування прикладних рішень підтверджено, що впровадження алгоритмів ШІ підвищує операційну ефективність та знижує витрати міських систем.

ANNOTATION

Analytical Processing of Smart City Data Using Artificial Intelligence // The educational level "Master" qualification work // Stavvytska Anastasiia // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2026 // P. 83, fig. – 6, tables – 8, annexes – 1, ref. – 68.

Key words: artificial intelligence, smart city, analytical data processing, machine learning, urban infrastructure optimization, predictive analytics, ethical impact, Internet of Things.

This thesis is devoted to the analytical processing of smart city data using AI. The first chapter of the thesis describes the concept of the ‘smart city’ as a digital space where management and mobility are based on the analytical processing of data. It highlights the scientific and technological foundations for the application of AI in urban planning and examines the basic information technology platforms of urban infrastructure. It also analyses the ethical principles of AI implementation.

The second chapter of the thesis substantiates conceptual AI models and their direct impact on the analytical processing of urban data. The specifics of using AI-based data processing methods to optimise specialised applications are described. Using AI tools, predictive analytics have been conducted in urban planning, specifically for modelling traffic, urban growth and environmental conditions.

The third chapter of the thesis develops a classification of methods and technologies for the intelligent processing and forecasting of urban data across four categories. A comprehensive approach to the integration of tools for the collection, monitoring and optimisation of heterogeneous information across all urban domains has been designed. Through testing of applied solutions, it has been confirmed that the implementation of AI algorithms improves operational efficiency and reduces the costs of urban systems.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AI HLEG (англ. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence) – Група експертів високого рівня з питань ШІ.

AIoT (англ. Artificial Intelligence of Things) – Штучний інтелект речей.

ATCS (англ. Adaptive Traffic Control System) – Адаптивним системам керування дорожнім рухом.

Big Data – великі дані.

CA (англ. Cellular Automata) – Клітинні автомати

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей

MDP (англ. Markov Decision Process) – Марковський процес прийняття рішень.

ML (англ. Machine Learning) – Машинне навчання.

SVR (англ. Support Vector Regression – Регресія опорних векторів.

ЄС – Європейський Союз.

ІКТ – Інформаційно-комунікаційні технології

ОЕСР – Організація економічного співробітництва та розвитку.

РМ – Розумне місто

ЦСР – Цілі сталого розвитку

ШІ – Штучний інтелект.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РОЗУМНИХ МІСТ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	11
1.1 Концепт «розумне місто»	11
1.2 Стан досліджень в галузі аналітичного опрацювання даних розумних міст з використанням штучного інтелекту	14
1.3 Взаємозв'язок «розумних міст» та штучного інтелекту	17
1.4 Інформаційно-технологічні платформи розумного міста з ШІ	18
1.5 Етичні принципи впровадження ШІ в розумні міста	21
1.6 Висновок до першого розділу	24
2 ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У РОЗУМНИХ МІСТАХ: ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКИХ ДАНИХ	25
2.1 Моделі штучного інтелекту	25
2.2 Аналіз впливу моделей штучного інтелекту	26
2.3 Використання моделей ШІ для застосунків «розумних міст»	28
2.4 Методи обробки даних «розумних міст» на основі ШІ	31
2.5 Прогностична аналітика на основі ШІ у міському плануванні	34
2.5.1 Прогнозування міського зростання	37
2.5.2 Моделі прогнозування трафіку	38
2.5.3 Прогнозування впливу на довкілля	40
2.6 Висновок до другого розділу	42
3 МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТА ІНФРАСТРУКТУРОЮ РОЗУМНИХ МІСТ	43
3.1 Методи оптимізації підсистем «розумних міст» на основі ШІ	43
3.1.1 Моделі розподілу ресурсів	45
3.1.2 Системи управління енергоспоживанням	47
3.1.3 Оптимізація транспортних систем	48
3.2 Модель структури етичного впливу ШІ на розумні міста	50

3.2.1 Описова модель структури етичного впливу ІІІ на розумні міста.....	50
3.2.2 Візуальна модель структури оцінки етичного впливу ІІІ на «розумні міста»	54
3.3 Застосунки розумних міст.....	56
3.4 Перспективні тенденції ІІІ для розумних міст	62
3.5 Виклики та перспективи подальших досліджень	63
3.6 Висновок до третього розділу.....	66
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	67
4.1 Безпечні умови праці при монтажі комп'ютерної мережі.	67
4.2 Застереження нещасних випадків та управління ризиками	69
4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час..	72
4.4 Планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій	74
4.5 Висновок до четвертого розділу.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій забезпечив появу нових методів збору, оброблення та аналізу даних у «розумних містах». Інтеграція штучного інтелекту в міські системи є ключовим інструментом підвищення їхньої життєздатності, енергоефективності та адаптивності, а також важливою умовою досягнення Цілей сталого розвитку ООН. Проте стрімке впровадження ШІ-платформ супроводжується технологічними, організаційними та соціоетичними ризиками, що потребує формування збалансованих підходів до інтелектуального управління міською інфраструктурою.

Сучасний стан досліджень засвідчує високу ефективність окремих прикладних рішень ШІ: систем машинного зору (детектування трафіку, моніторингу безпеки), моделей прогнозування потокових даних для передбачення заторів та оптимізаційних моделей маршрутизації в логістиці. Водночас наявні наукові праці здебільшого зосереджені на ізольованому вирішенні завдань у межах конкретних міських доменів (зокрема, розумної мобільності). На практиці бракує комплексного підходу до інтеграції гетерогенних масивів інформації, забезпечення інтеоперабельності систем та систематичного оцінювання етичних наслідків функціонування ШІ на рівні конкретних міських проєктів.

Отже, необхідність подолання організаційної фрагментації даних, автоматизації їхнього попереднього оброблення та розроблення ієрархічних структур квантування ризиків зумовлює актуальність і практичну значущість аналітичного опрацювання даних «розумних міст» із використанням штучного інтелекту як предмета комплексного наукового дослідження.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» обґрунтування теоретико-технологічних засад та розробка комплексного науково-методичного підходу до аналітичного опрацювання гетерогенних даних «розумних міст» на основі інтеграції методів ШІ, що дозволяє систематизувати інструменти прогностичної аналітики, побудувати ієрархічну модель оцінювання етичних результатів розгортання

інтелектуальних систем та підвищити операційну ефективність функціонування міської інфраструктури. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Дослідити теоретичний концепт «розумного міста» та оцінити сучасний стан наукових розробок у сфері інтеграції даних «розумних міст» засобами ШІ.
- Обґрунтувати нормативно-етичні принципи впровадження систем ШІ в міський простір на основі міжнародних стандартів та рекомендацій.
- Проаналізувати концептуальні моделі ШІ та формалізувати методи опрацювання різнорідних даних для їх подальшого використання в прикладних доменах міського планування.
- Здійснити прогностичну аналітику та моделювання процесів міського зростання, транспортного трафіку й параметрів екологічного стану з використанням алгоритмів машинного навчання.
- Розробити чотирирівневу класифікацію методів інтелектуального аналізу даних та спроектувати візуально-описову модель оцінювання етичних результатів розгортання систем ШІ для підвищення операційної ефективності й координації інфраструктурних застосунків «розумних міст».

Об'єкт дослідження процеси збору, агрегації та аналітичного опрацювання різнорідних даних у функціональних доменах «розумних міст» за допомогою технологій штучного інтелекту.

Предмет дослідження. методи, моделі та алгоритми ШІ для аналітичного опрацювання, прогностичного моделювання та оптимізації різнорідних даних інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» з урахуванням нормативно-етичних чинників їх цифрової трансформації.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що розроблено концептуальні та прикладні засади системної інтеграції методів ШІ для аналітичного опрацювання різнорідних даних «розумних міст»

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені прикладні моделі, алгоритмічні підходи та класифікаційні структури можуть бути безпосередньо інтегровані в діяльність органів міського самоврядування,

комунальних підприємств та IT-компаній, які здійснюють цифрову трансформацію міського простору.

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

- XI міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2022 р.).

- VI міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2023 р.).

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

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 68 найменувань та одного додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 83 сторінки, з них 45 сторінки основного тексту, який містить 6 рисунків та 8 таблиць.

1 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РОЗУМНИХ МІСТ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

1.1 Концепт «розумне місто»

Стрімка урбанізація та зростання міського населення зумовлюють дедалі гостріші виклики для сучасних міст: перевантаження інфраструктури, транспортні затори, зниження економічної ефективності та обмеження доступу до медичних послуг. Безумовно, у межах великих міських агломерацій простежується погіршення екологічних показників унаслідок кліматичних змін і забруднення навколишнього середовища. Новітні досягнення у сфері ШІ, розумних давачів та технологій бездротового зв'язку дозволили сформуванню повсюдних сенсорних й обчислювальних рівнів, що суттєво вдосконалюють технічні та управлінські можливості міського середовища. Розумні міські системи взаємодіють і з'єднуються між собою в структурі інтегрованої мережі, утворюючи єдиний цифровий простір міста. Розумні міста зі складними мережами авіаційного та водного транспорту, мобільності, енергетики, охорони здоров'я, сталого розвитку та передачі даних значною мірою покладаються на аналітичне опрацювання даних як підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [1].

Зазначений технологічний розвиток породжує суттєві завдання у сфері збору, прогнозування та оптимізації даних, оскільки інтелектуальні рішення в розумних містах не можуть бути повною мірою забезпечені існуючими методами машинного навчання та операційних досліджень [2]. Підвищення мобільності, забезпечення стабільності розвитку, ефективного надання послуг та належної якості життя традиційно залишаються пріоритетними завданнями для міських адміністрацій. Водночас трильйони показників давачів, інформація користувачів та дані соціальних платформ, які генеруються щоденно в межах міста, відкривають широкі можливості для розробки та застосування інноваційних

підходів до аналітичного опрацювання даних з використанням ШІ – що є предметною основою цього дослідження.

За останні роки, зі стрімким зростанням пропускну́ї здатності мережевого зв'язку, обчислювальної потужності та можливостей обробки даних, відповідний напрямок досліджень продемонстрував переконливі результати: розроблено моделі руху, класифікатори та моделі прогнозування мобільності, методи оптимізації в режимі реального часу й фреймворки для підтримки прийняття рішень. Проте створення послуг інтелектуальної мобільності залишається одним із найскладніших викликів через широкий спектр екологічних, транспортних і поведінкових чинників, а також множинність точок зору, багатofакторність і суттєву невизначеність, що визначають характер управлінських рішень [3].

У дослідженні зосереджено увагу на масштабних досягненнях у технологіях і методологіях великих даних, машинного навчання та операційних досліджень, а також їх застосуванні в задачах аналітичного опрацювання даних «розумних міст». Прийняття рішень у «розумних містах» передбачає одночасне дослідження різноманітних аспектів. До них належать різні форми міських даних – зокрема дані про види транспорту, зображення, акустичне середовище, геолокації, супутникові та аерофотознімки тощо, – зібрані за допомогою мобільного зв'язку, сенсорних і супутникових технологій та охарактеризовані такими параметрами, як обсяг, масштаб, якість і форма подання. Сюди також відносяться простори прогнозування, часові вікна й рівні шуму користувацької та міської інформації, а також різноманітні підходи до оцінювання даних з урахуванням неповноти прогнозних результатів. Без винятку, ці рішення охоплюють взаємозв'язки між специфічними аспектами, які можуть бути динамічними в розрізі міст і регіонів, часових періодів та джерел даних [4]. Узагальнену структуру компонентів «розумного міста» подано на рисунку 1.1.

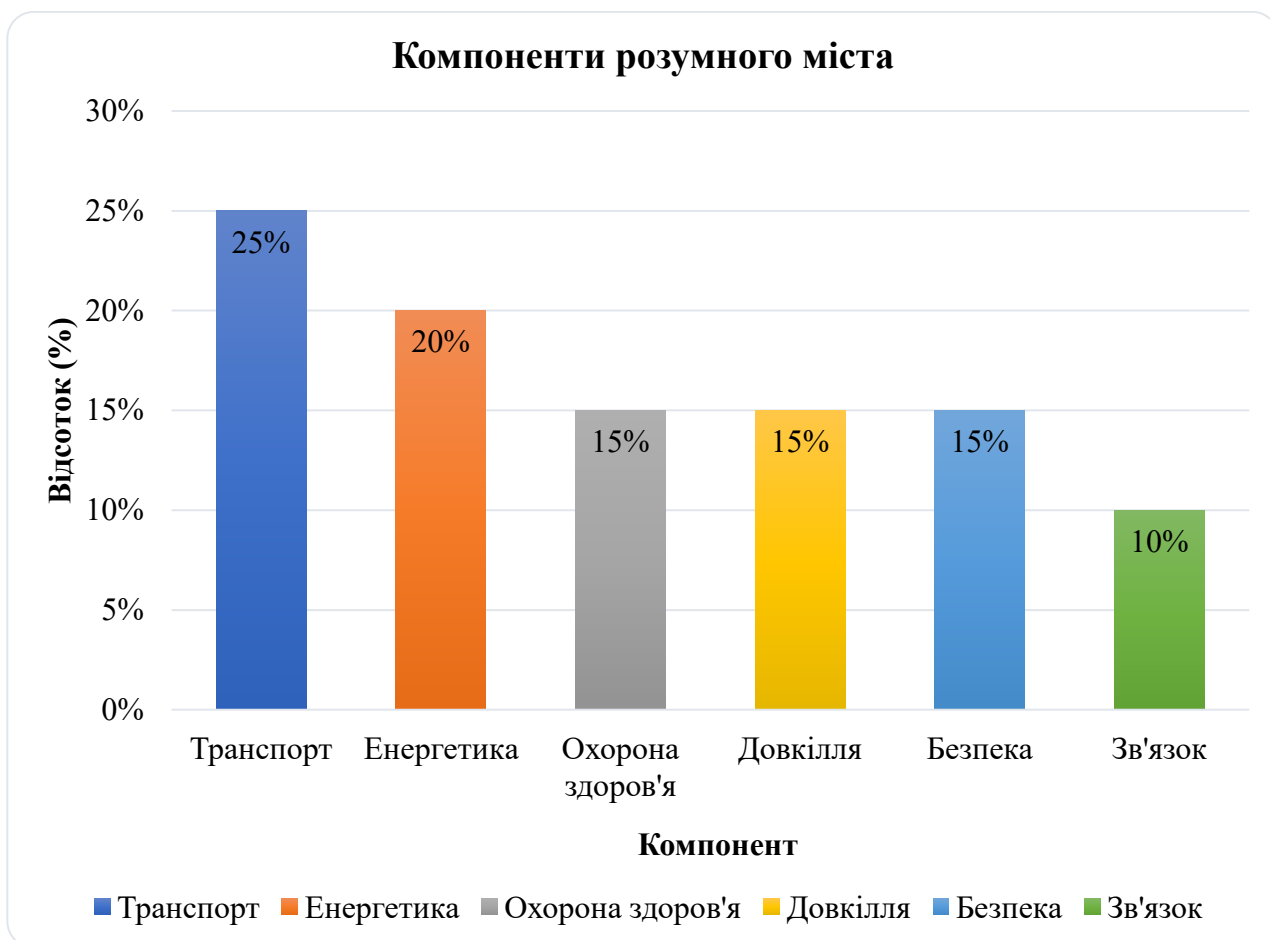


Рисунок 1.1 – Компоненти розумного міста [5]

Стрімке поширення масивів сенсорних пристроїв разом із досягненнями в галузі бездротових технологій та доступних датчиків уможливило реалізацію проєктів «розумних міст» у різних куточках світу. «Розумні міста» являють собою сукупність технологій та інструментів опрацювання міських даних, що перетворюють первинні дані від вбудованих датчиків, громадян і пристроїв IoT на засоби вилучення знань про місто, моніторингу та підтримки сталого розвитку [6]. Спостерігається значний прогрес у типах і обсягах даних, що збираються в містах, що зумовлює потребу у вилученні інформації з цих масивів, прогнозуванні майбутніх станів, а також оптимізації та управлінні містом на основі отриманих відомостей і прогнозів [7]. Водночас у «розумних містах» частина зібраних даних може мати суттєву цінність у перспективі, а окремі інструменти прогнозування потребують урахування значних масивів історичних даних для побудови точних моделей. Це породжує виклики, характерні для

раннього етапу ери великих даних (Big Data), зокрема волатильність і багатовимірність даних.

«Розумні міста» також генерують значну кількість багатовимірних фотозображень і відеоматеріалів, знятих із високою частотою кадрів із кількох камер одночасно, що формує масиви даних, які вирізняються як великим обсягом, так і суттєвою різноманітністю. Як-от, ці дані відрізняються за часовими інтервалами та роздільною здатністю, що додатково ускладнює їх аналітичне опрацювання. Відповідно, моделювання, прогнозування та управління в «розумних містах» є значно складнішим завданням порівняно з традиційними підходами. Процеси прогнозування та оптимізації в «розумних містах» розглядаються з урахуванням характеристик міських даних, складності науково-дослідних задач, а також необхідних обчислювальних ресурсів [8]. Опрацювання даних як перший етап вирішення проблем «розумних міст» описується через деталізацію вузьких місць в операбельності та масштабованості, методів попередньої обробки, необхідних для аналізу міських даних, а також керованих факторів передбачуваності. Дані, що моделюються, та результати моделювання у сукупності формують типи знань, отриманих із інфраструктури «розумного міста» [9].

Прогнозування є процесом оцінювання значень змінної достовірності у визначеному прогнозному часовому інтервалі. Змінною достовірності в задачах прогнозування попиту виступає рівень попиту в до-сталий період. Невизначеність і шуми, що генеруються вимірювальними приладами та обмежують керованість бази даних, сформованої на основі наборів вимірювань, зумовлюють певні похибки в інформаційній структурі «розумних міст» [10].

1.2 Стан досліджень в галузі аналітичного опрацювання даних розумних міст з використанням штучного інтелекту

Хоча дослідження «розумних міст» міцно утвердилися в сучасному науковому дискурсі в галузі урбаністики, публічної політики, менеджменту та комп'ютерних наук [11], поява ІІІ, а також інструментів і застосунків на його

основі формує новий імпульс для розвитку концепції «розумних міст» [12]. Розвиток ІІІ та суміжних технологій свідчить про те, що дослідження у сфері «розумних міст» більше не можуть зосереджуватися лише на технічній дієвості або – у більш оптимістичному сценарії – на соціально-політичній реалізованості запропонованих рішень [13]. З огляду на глибоке проникнення ІІІ в структуру інструментів і застосунків, що забезпечують функціонування «розумних міст», науковий дискурс у цій сфері має однозначно охоплювати питання етики використання інтелектуальних систем аналітичного опрацювання даних [14].

В окремих аспектах сучасний дослідницький акцент на етичному вимірі є безпосереднім наслідком попередніх закликів до інтеграції пріоритетів суспільних інтересів та потреб громадян у дослідження «розумних міст» [15]. У цьому контексті увага однаковою мірою приділяється як поглядам мешканців та їх ролі в проектуванні й функціонуванні «розумних міст» [16], так і компетентному лідерству та відповідним управлінським практикам [17]. Це набуває особливої актуальності в контексті парадигми «розумних міст», орієнтованих на стимулювання інновацій, підвищення ефективності та оптимізацію корисності системи, – парадигми, що відступає від традиційної ієрархічної моделі управління «згори донизу» [18].

Завдяки зміні дослідницької перспективи питання етики у зв'язку з ІІІ залишається ключовим як для ранніх [19], так і для сучасніших наукових дебатів щодо ІІІ [20]. Таким чином, ІІІ та етика мають розглядатися як центральні елементи досліджень у сфері «розумних міст». За оцінками, до 2026 року ІІІ слугуватиме наріжним каменем для понад 30% застосунків у «розумних містах», охоплюючи міські транспортні системи, та суттєво сприятиме підвищенню стійкості, сталості й соціального добробуту в міському середовищі [21]. Проте, доки етичні міркування не будуть належним чином інтегровані в основу застосунків на базі ІІІ в «розумних містах», відсутність регулювання становитиме серйозне джерело вразливості, що зумовить ризики для подальшого розвитку концепції «розумного міста» загалом.

З метою запобігання можливим наслідкам нерегульованого розвитку технологій ІІІ, етичні засади його розробки впродовж останніх років

обговорюються на глобальному, регіональному та національному рівнях – зокрема, в Організації Об'єднаних Націй [22], Європейському Союзі [23]; а також галузевими та секторальними асоціаціями [24]. Як зазначається в [25], етичні критерії, як-от прозорість, підзвітність і справедливість, є вирішальними для успішного впровадження технологій ШІ в «розумних містах». У цьому напрямі сформувався значний масив досліджень, що, з одного боку, розглядають внутрішні аспекти етичного використання ШІ, а з іншого – охоплюють різноманітні виміри його застосування в контексті «розумних міст» [26]. Центральним у цій дискусії є імператив орієнтації ШІ та інструментів на його основі на інтереси суспільства: завдяки фокусуванню насамперед на потребах людини й громади потенціал ШІ реалізується повною мірою, тоді як негативні зовнішні ефекти мінімізуються. Оскільки дискусія перебуває на початковому етапі, питання переваг, викликів та наслідків аналізуються або стосовно вузькоспеціалізованих об'єктів, або на високому рівні узагальнення, залишаючи відкритими ключові питання: які методологічні підходи доцільно використовувати для вимірювання та оцінювання ролі цифрових платформ аналітичного опрацювання даних на базі ШІ в «розумних містах», зокрема в їхніх етичних вимірах.

З метою заповнення зазначеної дослідницької прогалини визначення змінних і сфер, за якими можна оцінити та виміряти етичний аспект ШІ та його функціональні наслідки для «розумних міст» впродовж усього життєвого циклу відповідних проєктів, становить одне з актуальних завдань сучасної науки. У межах відповідних досліджень спочатку розглядається взаємозв'язок між концепцією «розумного міста» та ШІ, після чого формулюються тези щодо викликів і можливостей, пов'язаних із його використанням. Аналіз «Етичних рекомендацій щодо надійного штучного інтелекту» [27], дозволяє висвітлити ризики та можливості, які ШІ створює у контексті етики. На цьому підґрунті пропонується ієрархічна модель оцінювання етичних результатів впровадження технологій. На основі аналізу літератури та методу конкретних прикладів досліджуються теми застосунків «розумних міст», етичних принципів і моделей

ШІ, а також подається якісне оцінювання того, як застосунки «розумних міст» і методи ШІ визначають рівень дотримання етичних принципів.

1.3 Взаємозв'язок «розумних міст» та штучного інтелекту

ШІ відіграє критично важливу роль у розвитку «розумних міст»: системи ШІ застосовуються для підтримки прийняття рішень у процесах проектування та планування з метою розв'язання комплексних взаємопов'язаних проблем – явища, що отримало назву взаємозв'язку «ШІ–урбанізм». ШІ суттєво розширює можливості «розумних міст» щодо аналітичного опрацювання даних, прогнозування та оптимізації, забезпечуючи глибше розуміння складності, динаміки та тенденцій міського середовища.

Аналітичні висновки на основі ШІ охоплюють моделювання міст на основі даних, прогнозування, формування протокольних рекомендацій, залучення знань та оптимізацію давачевих мереж [28]. Дослідження в цій галузі систематизуються відповідно до таксономії, що групує їх за типом застосованої технології ШІ та відповідним високорівневим завданням. У контексті «розумних міст» виокремлено низку критичних викликів і перспективних напрямів подальших досліджень у сфері розробки систем аналітичного опрацювання, прогнозування та оптимізації міських даних засобами ШІ [29].

Зростаюча складність сучасних міських середовищ посилює значущість підходів на основі даних у міському моделюванні, покликаних допомогти регуляторам та особам, які приймають рішення, краще осмислити просторово-фізичні, соціальні та екологічні виміри міської динаміки. Інтеграція передових обчислювальних методів із великими та гетерогенними наборами даних відкриває нові можливості для дослідження міського середовища, а також взаємодії в системі «суспільство–середовище». Очікується, що завдяки поєднанню переваг ШІ та концепції штучного інтелекту речей (AIoT) відбудеться трансформація міських просторів, що дозволить проектувати більш сталі та інклюзивні інтелектуальні сервіси «розумного міста», адаптовані до індивідуальних потреб, поведінки та характеристик мешканців [30].

Застосування ШІ дає можливість непрофесійним користувачам брати активну участь у сервісах на його основі та взаємодіяти із системами, знаннями й процесами ШІ в конкретному контексті. Це може прискорити розуміння користувачами складності викликів, які потребують інтелектуальних рішень, а також полегшити інтерпретацію результатів, згенерованих системами ШІ, і аналіз міжнаціональної взаємодії в процесі надання послуг. Розробка технологій ШІ, орієнтованих на потреби громади, для підтримки міських рішень має отримати механізми мислення та аргументації вищого порядку, які виходять за межі когнітивного підходу, а також зважати як на потенційні можливості, так і на ризики [31].

Хоча інтуїтивно можна припустити наявність прямого зв'язку між «розумними містами» та ШІ, у межах наукових завдань доцільно виявити та відобразити компоненти цього зв'язку, а також дослідити механізми, що лежать в його основі. Визначено складники екосистеми ШІ в «розумних містах», що формуються; зокрема, до них належать:

- інформаційно-технологічні платформи – інфраструктура;
- застосунки – інструменти;
- моделі ШІ – механізми;
- принципи ШІ – логіка.

1.4 Інформаційно-технологічні платформи розумного міста з ШІ

Першим важливим кроком для створення «розумних міст» з ефективним процесом прийняття рішень є агрегація даних, що надходять із кількох прикладних сфер «розумних міст», та їх поєднання з історичними або відкритими даними з різних джерел [32]. Інформаційно-технологічна платформа «розумного міста» являє собою відкриту технологічну інфраструктуру, здатну ефективно моніторити, моделювати та керувати міськими умовами шляхом інтеграції застосунків «розумного міста» в єдиний централізований інтерфейс – Центр управління «розумним містом». Ця інфраструктурна технологія забезпечує візуалізацію даних у режимі реального часу та цілісне бачення

міського середовища, сприяючи чіткій передачі інформації адміністраторам міста й зацікавленим сторонам для планування щоденної діяльності та прийняття рішень щодо розвитку на основі даних [33].

В ієрархічному підході інформаційно-технологічна платформа «розумного міста» розглядається як технічна інфраструктура, здатна акумулювати дані підключених міст для реалізації концепції цифрового двійника розумних регіонів. При цьому важливо зазначити, що під час вимірювання функціональних результатів розгортання систем зазначена інформаційно-технологічна платформа розглядається як окремий застосунок, що не додає додаткового рівня складності. Виокремлено складники та базові інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» [34]:

1) IBM Intelligent Operations Center (IOC) – комплексна інформаційно-технологічна платформа для «розумного міста», що інтегрує дані з різних джерел, зокрема з датчиків, соціальних мереж та міських баз даних. Вона пропонує єдину панель моніторингу для спостереження та керування широким спектром застосунків – управлінням дорожнім рухом, реагуванням на надзвичайні ситуації та екологічним моніторингом.

2) Schneider Electric EcoStruxure – інтегрована інформаційно-технологічна платформа для керування різноманітними застосунками «розумного міста», що використовує модулі управління енергоспоживанням, водопостачанням, утилізацією відходів та автоматизацією будівель. Вона забезпечує централізований моніторинг і контроль у режимі реального часу.

3) Cisco Kinetic for Cities – інформаційно-технологічна платформа, що уможливорює підключення, керування та аналітичне опрацювання даних із різноманітних IoT-пристроїв і застосунків, забезпечуючи централізований моніторинг послуг «розумного міста», зокрема транспорт, вуличне освітлення та громадську безпеку [35]. Починаючи з квітня 2021 року, продукт підтримується компанією Cisco, проте більше не реалізується комерційно.

4) Microsoft CityNext – ініціатива у сфері «розумних міст», що інтегрує комплекс рішень для міського управління на основі інформаційно-технологічної платформи Microsoft Azure, яка забезпечує інтеграцію та аналітику даних. Вона

надає міській адміністрації єдиний інтерфейс для моніторингу й оптимізації послуг на кшталт транспорту, громадської безпеки та охорони здоров'я. Інструмент Azure Digital Twins уможливорює побудову моделей цифрових двійників цілих міст, а також аналіз і візуалізацію даних із широкого спектра датчиків і пристроїв, розподілених у міському просторі.

5) Siemens CityOS – цифрова інформаційно-технологічна платформа міських рішень, що пропонує принципово нові підходи до подолання викликів урбанізації. Поєднуючи дані з технологіями IoT, ШІ, програмним забезпеченням для моделювання та автоматизації в межах розгалуженої екосистеми спеціалізованих партнерів, вона забезпечує розумне управління динамічним попитом на енергію та воду, а також сприяє зменшенню транспортних заторів, шуму і забруднення навколишнього середовища.

6) Huawei Intelligent Operations Center – хмарна інформаційно-технологічна платформа для моніторингу міських операцій у режимі реального часу, що функціонує як інтегрований центр управління «розумним містом». Вона інтегрує та пов'язує між собою інформацію й процеси, надаючи технологічну основу для реалізації передових операційних і управлінських рішень.

7) Sentilo – інформаційно-технологічна платформа для управління датчиками та периферійними пристроями, розроблена для «розумних міст», орієнтованих на відкритість і сумісність систем. Вона застосовує концепції IoT для керування бездротовими датчиковими мережами та хмарні обчислення для обміну даними із застосунками. Інструменти великих даних використовуються переважно для збору й зберігання датчикових даних, що забезпечує масштабованість системи. Первісно розроблену для міста Барселона, після розгортання цю інформаційно-технологічну платформу було випущено під відкритими ліцензіями LGPL та EUPL [36].

8) FIWARE – інформаційно-технологічна платформа з відкритим кодом, що вирізняється роллю стандарту для «платформ розумних міст» у Європі. Вона надає різноманітні компоненти та забезпечує інтерфейси NGSI й контекстні брокери на основі відкритого API нового покоління. На основі відкритого коду

FIWARE також розбудовується безпекова архітектура японської корпорації NEC, рішення якої застосовуються у країнах по всьому світу.

Зазначені інформаційно-технологічні платформи спрямовані на спрощення управління різноманітними застосунками «розумних міст», посилення міжвідомчої співпраці та забезпечення ефективнішого моніторингу й реагування на міські виклики [37]. У поєднанні з інтеграцією різних секторів міського господарства ці інформаційно-технологічні платформи сприяють оптимальному використанню ресурсів і підтримують колективні зусилля у сфері збереження довкілля. Окреслений цілісний підхід не лише оптимізує управління ініціативами «розумного міста», але й суттєво підвищує рівень екологічної безпеки та комфорту міського середовища, сприяючи сталому розвитку та життєздатності міських територій [38]. Уніфіковані панелі керування забезпечують комплексний та інтегрований підхід до аналітичного опрацювання даних і управління «розумними містами» [39].

1.5 Етичні принципи впровадження ШІ в розумні міста

Стрімкий розвиток ШІ супроводжується появою значної кількості документів, що встановлюють принципи його відповідальної розробки. Дослідження свідчать що разом із секторальними нормами виокремлюється 36 основних принципів ШІ. Попри тенденцію до формування єдиної візії врядування у сфері ШІ, дискусія щодо його етичного використання охоплює різноманітні теми: приватність, підзвітність, безпеку та захищеність, прозорість і пояснюваність, справедливість і недискримінацію, контроль суспільства над технологіями, професійну відповідальність, а також просування загальнолюдських цінностей.

Центральним компонентом аналітичної структури впровадження ШІ в «розумні міста» є набір етичних принципів, яких доцільно дотримуватися. При цьому сама структура та метод визначення етичних результатів розгортання рішень «розумних міст» є незалежними від конкретного їх переліку.

У межах цього дослідження прийнято сім етичних принципів ШІ, викладених в «Етичних рекомендаціях щодо надійного штучного інтелекту» [27]. Зазначені рекомендації розроблено Групою експертів високого рівня з питань штучного інтелекту (AI HLEG) у формі семи незобов'язуючих етичних принципів, спрямованих на забезпечення надійності та етичної обґрунтованості систем ШІ.

Визначені сім принципів охоплюють такі складники:

1) Суспільний чинник і нагляд – системи ШІ мають підтримувати автономію користувачів та процеси прийняття рішень відповідно до принципу поваги до суб'єктності громадян. Це передбачає, що системи ШІ функціонують як рушії демократичного, процвітаючого та справедливого соціуму, підтримуючи можливості користувачів, сприяючи дотриманню основоположних прав і забезпечуючи умови для зовнішнього нагляду

2) Технічна стійкість і безпека – технічна стійкість є вирішальним компонентом досягнення надійності ШІ і тісно пов'язана з принципом запобігання шкоді. Вона передбачає, що системи ШІ розробляються з превентивним підходом до ризиків і надійно функціонують за призначенням, мінімізуючи ненавмисну шкоду та запобігаючи неприпустимим негативним наслідкам. Це стосується також потенційних змін в операційному середовищі та присутності інших агентів – користувачів або штучних компонентів, – що можуть взаємодіяти із системою у ворожий спосіб. Окрім цього, має бути забезпечена фізична та психологічна цілісність громадян.

3) Приватність і управління даними – приватність як основоположне право тісно пов'язана з принципом запобігання шкоді, оскільки системи ШІ мають на неї особливе значення під час функціонування. Запобігання шкоді у сфері приватності потребує належного управління даними, що охоплює їхню якість і цілісність, актуальність з огляду на сферу розгортання систем ШІ, протоколи доступу, а також здатність опрацьовувати дані у спосіб, що гарантує захист конфіденційності.

4) Прозорість – ця вимога тісно пов'язана з принципом пояснюваності та охоплює відкритість усіх елементів системи ІІІ: даних, самої системи та відповідних бізнес-моделей.

5) Різноманітність, недискримінація та справедливість – досягнення надійності ІІІ передбачає забезпечення інклюзивності та різноманітності впродовж усього життєвого циклу системи. Окрім урахування інтересів і залучення всіх зацікавлених сторін, це вимагає рівного доступу через інклюзивні процеси проектування та рівного ставлення до всіх учасників. Зазначена вимога безпосередньо пов'язана з принципом справедливості.

6) Соціальний та екологічний добробут – відповідно до принципів справедливості та запобігання шкоді, соціум у ширшому розумінні, біосфера та навколишнє середовище також мають розглядатися як зацікавлені сторони впродовж усього життєвого циклу системи ІІІ. Доцільно заохочувати сталість та екологічну відповідальність систем ІІІ, а також сприяти дослідженням рішень, спрямованих на вирішення викликів глобального значення, зокрема досягнення цілей сталого розвитку. За оптимальних умов системи ІІІ мають слугувати на благо суспільства, зокрема й майбутніх поколінь.

7) Підзвітність – вимога підзвітності доповнює всі вищезазначені принципи та тісно пов'язана з принципом справедливості. Вона передбачає впровадження механізмів, що забезпечують відповідальність за системи ІІІ та їхні функціональні результати як до, так і після їх розробки, розгортання й використання.

Зазначені рекомендації є каталізатором для розробки систем ІІІ, що характеризуються узгодженістю, надійністю та антропоцентричним підходом, і відповідають принципам, закріпленим у відповідній Хартії та фундаментальним цінностям Європейського Союзу [27].

Запропонована структура є відправною точкою для створення сталих антропоцентричних систем аналітичного опрацювання даних «розумних міст», а вибір конкретного набору етичних принципів може варіюватися залежно від контексту впровадження.

1.6 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» подано концепт «розумне місто» як цифровий простір, де управління, мобільність та сталий розвиток базуються на аналітичному опрацюванні даних. Розглянуто взаємозв'язок «розумних міст» та штучного інтелекту. Висвітлено стан досліджень в галузі аналітичного опрацювання даних «розумних міст», де поява ШІ формує новий імпульс для розвитку урбаністики. Проаналізовано базові інформаційно-технологічні платформи «розумних міст». Досліджено етичні принципи впровадження ШІ в «розумні міста», оскільки він вже виступає основою для значної частини міських застосунків.

2 ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У РОЗУМНИХ МІСТАХ: ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКИХ ДАНИХ

2.1 Моделі штучного інтелекту

Згідно з проведеними дослідженнями [25], оцінювання моделей ШІ передбачає аналіз як технічної ефективності, так і етичної відповідності.

Загальноприйняте визначення описує модель ШІ як програму, що була навчена на наборі даних для розпізнавання певних закономірностей або прийняття рішень без подальшого втручання людини. Моделі ШІ застосовують різні алгоритми до відповідних вхідних даних для виконання завдань або отримання результатів, на які їх було запрограмовано (ІВМ, НР). Для цілей дослідження доцільно прийняти наступне визначення [40]:

Модель ШІ – це обчислювальне зображення всього або частини зовнішнього середовища системи ШІ, що охоплює процеси, об'єкти, ідеї, людей та/або взаємодії, що відбуваються в цьому середовищі.

Для оцінки наслідків використання моделей ШІ для дотримання етичних принципів – зокрема ступеня прозорості та обґрунтованості, надійності, захисту прав людини, приватності й справедливості у державній політиці – Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) [40] пропонує здійснювати їх аналіз на основі:

- типу моделі (символьна, статистична або змішана, дискримінативна, генеративна або ансамблева);
- способу побудови моделі (процес навчання з використанням експертних знань, машинного навчання або обох підходів);
- способу використання моделі (для яких цілей і з використанням яких показників ефективності).

Тип моделі визначає архітектуру системи ШІ та дозволяє встановити ступінь зрозумілості її логіки [41], забезпечуючи чіткі та обґрунтовані аргументи щодо результатів її роботи. Це є критично важливим у контексті аналітичного опрацювання даних «розумних міст», де застосування ШІ безпосередньо

зумовлює точність рішень у чутливих сферах управління міською інфраструктурою: що складнішою є модель, то важчим стає її пояснення та верифікація результатів. Процес побудови моделі, або «навчання», визначає якість системи ШІ та безпосередньо пов'язаний із питаннями безпеки, захищеності й надійності, а також підзвітності та відповідальності за прийняті рішення.

Розуміння того, як модель розроблялась та/або обслуговувалась, є ключовим чинником для розподілу ролей і відповідальності в процесах управління ризиками, що набуває особливої актуальності при впровадженні ШІ-рішень у системах «розумного міста».

У наступному параграфі, на основі зазначених міркувань, підкріплених науковими дослідженнями та технічною літературою, визначено ступінь зумовлених моделями ШІ змін у дотриманні відповідних етичних принципів.

2.2 Аналіз впливу моделей штучного інтелекту

Сукупність моделей ШІ, що застосовуються у застосунках «розумних міст», формує окремий аналітичний рівень ієрархічної моделі. Для кожної такої моделі необхідно визначити ступінь її функціональних наслідків для дотримання встановлених етичних принципів.

Як описано в параграфі 2.1 та запропоновано ОЕСР, характер цієї взаємодії та зумовлені нею зміни залежать від:

- типу моделі – символічна, статистична або змішана; дискримінативна, генеративна або ансамблева;
- способу побудови моделі – процес навчання з використанням експертних знань, машинного навчання або обох підходів;
- способу використання моделі – для яких цілей і з використанням яких показників ефективності.

На основі наукових досліджень, технічної літератури та експертного оцінювання сформовано матрицю результатів дії моделей ШІ на етичні принципи за чотирирівневою шкалою оцінювання (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Аналіз впливу моделей ШІ на етичні принципи [34]

Модель ШІ / Етичний принцип	Людський чинник та нагляд	Технічна надійність та безпека	Конфідційність та управління даними	Прозорість	Різноманітність, недискримінація та справедливність	Соціальне та екологічне благополуччя	Підзвітність
Штучні нейронні мережі	Високий	Високий	Високий	Дуже високий	Дуже високий	Високий	Дуже високий
Нечітка логіка	Середній	Середній	Середній	Низький	Середній	Середній	Низький
Регресія опорних векторів	Низький	Низький	Низький	Середній	Низький	Низький	Середній
Багатошаровий перцептрон	Високий	Високий	Високий	Дуже високий	Високий	Дуже високий	Дуже високий
Метод k-середніх	Низький	Низький	Низький	Низький	Середній	Низький	Низький
Генетичний алгоритм	Середній	Низький	Середній	Низький	Середній	Середній	Середній
Метод опорних векторів	Високий	Високий	Високий	Середній	Високий	Високий	Середній
Рекурентна нейронна мережа	Високий	Високий	Високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий
Згорткова нейронна мережа	Високий	Високий	Дуже високий	Високий	Високий	Високий	Високий

Аналіз матриці взаємозв'язку характеристик застосунків «розумного міста» та етичних принципів наведених таблиці 2.1 виявляє низку важливих закономірностей.

По-перше, застосунки смарт-безпеки та смарт-транспорту демонструють найвищий загальний профіль етичних наслідків: обидві категорії отримали оцінку «дуже високий» за більшістю із семи принципів. Це пояснюється тим, що обидві категорії передбачають масштабний збір персональних даних у режимі реального часу, алгоритмічне прийняття рішень, що безпосередньо зачіпає права громадян, а також широке охоплення населення міста.

По-друге, застосунки смарт-водопостачання та управління й цифровізації також характеризуються стабільно високим рівнем зумовлених ними регуляторних ризиків за більшістю принципів, що зумовлено їхньою критичною

інфраструктурною роллю та безпосереднім зв'язком із забезпеченням базових потреб і прав мешканців міста.

По-третє, смарт-сільське господарство отримало найнижчі оцінки серед усіх розглянутих категорій – переважно «низький» та «середній» рівень зумовлених ним змін, – що відображає його відносно обмежену безпосередню дію на права та конфіденційність міських мешканців порівняно з іншими застосунками.

Показово, що принципи конфіденційності та захисту даних, а також суспільного й екологічного благополуччя отримали найвищі оцінки критичності в найбільшій кількості категорій застосунків. Це підтверджує їхню центральну роль у забезпеченні етичного розгортання ІІІ-рішень в аналітичному опрацюванні даних «розумних міст».

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що рівень етичних наслідків функціонування застосунку «розумного міста» визначається насамперед ступенем його втручання у приватне життя громадян, масштабом охоплення та критичністю сфери застосування. Відтак під час планування та реалізації проєктів «розумного міста» необхідно диференційовано підходити до управління етичними ризиками залежно від типу застосунку, приділяючи особливу увагу системам безпеки та транспортної інфраструктури як зонам найвищого етичного ризику при впровадженні інструментів ІІІ.

2.3 Використання моделей ІІІ для застосунків «розумних міст»

Для визначення наслідків функціонування застосунків «розумних міст» для дотримання етичних принципів доцільно встановити перелік моделей ІІІ, що використовуються в межах кожного застосунку.

Як зазначено в попередньому параграфі, в одному застосунку для різних функціональних можливостей може застосовуватися декілька моделей ІІІ, а окрема модель може використовувати комбінацію різних підмоделей.

З метою аналітичного опрацювання визначається частота використання кожної моделі; це число є ваговим коефіцієнтом, на який множиться одиничний

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обробка зображень за допомогою машинного навчання						1			1
IDS та IPS для електронного урядування				1					1
Метод k-середніх	1	1							2
Кластеризація k-середніх			1			1			2
Метод k-найближчих сусідів							1		1
Регресія найменших квадратів	1								1
Лінійна регресія							1		1
Довга короткострокова пам'ять (LSTM)							1		1
Багатошаровий перцептрон	1	1							2
Наївний байссівський класифікатор	1								1
Часткова регресія найменших квадратів		1							1
Радіально-базисна мережа		1							1
Класифікація «Випадковий ліс»		1							1
Регресія «Випадковий ліс»								1	1
Випадкові ліси					1				1
Рекурентна нейронна мережа								1	1
Короткострокова подібність патернів							1		1
Короткострокова регресія								1	1
Глибокі автокодувальники з шумозаглушенням					1				1
Метод опорних векторів	1						1		2
Регресія опорних векторів			1		2				3
Інтелектуальний аналіз тексту					1				1
Загалом	8	7	8	3	6	7	8	5	52

Таблиця 2.2 є одним із вхідних параметрів аналітичної структури, що застосовується для визначення відношень між застосунками та моделями ШІ, а також відповідних трансформацій у застосунках «розумних міст».

На основі діаграми взаємозв'язків між застосунками «розумного міста» та моделями ШІ можна проаналізувати кількість моделей ШІ, що використовуються кожним застосунком, а також загальну кількість моделей, задіяних у всіх застосунках (рисунок 2.1). Дані таблиці 2.2 зображено у вигляді хордової діаграми (рисунок 2.1).

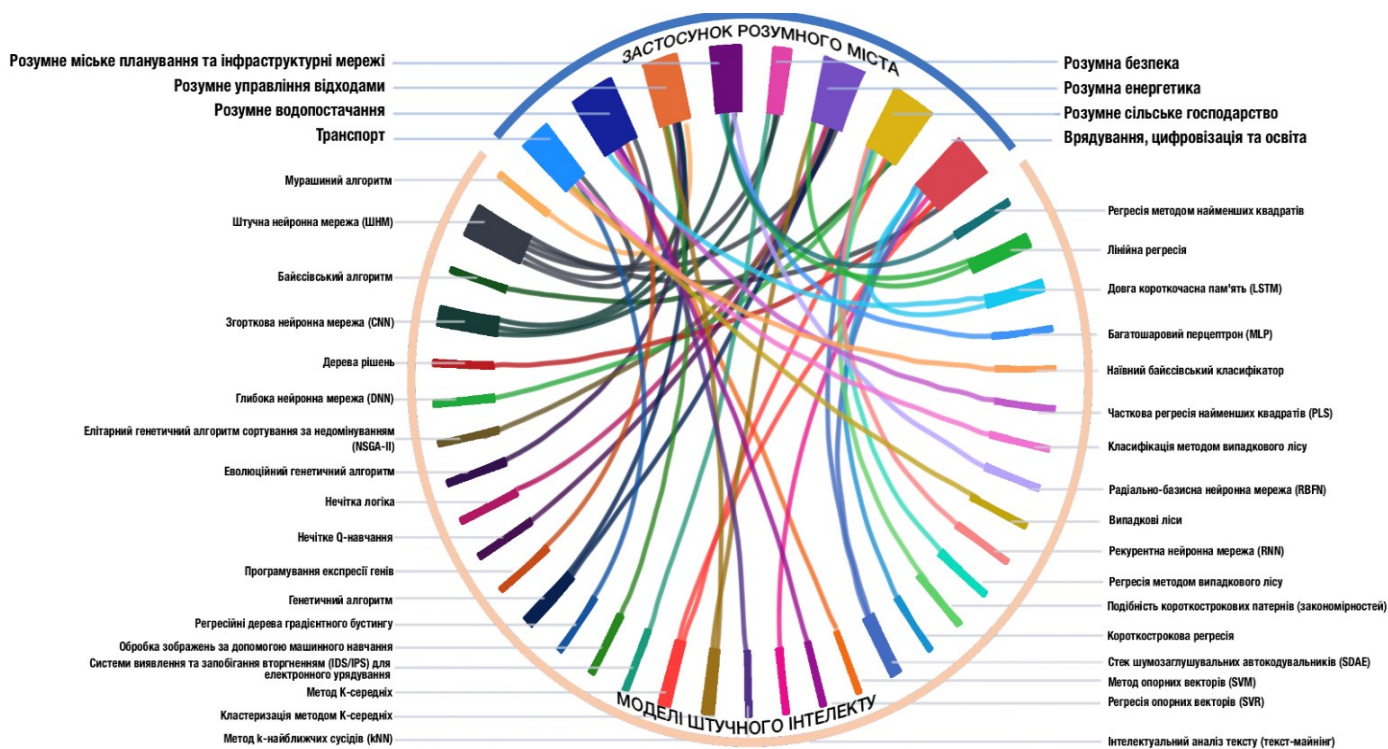


Рисунок 2.1 – Застосунки «розумного міста» та ШІ-модель [34]

Перелік моделей ШІ, що використовуються застосунками «розумного міста», є обов'язковою вимогою, яку мають декларувати компанії-розробники відповідних рішень. Для визначення сукупних наслідків функціонування усіх моделей ШІ, задіяних у конкретному застосунку «розумного міста», для етичних принципів застосовується функція агрегації значень кожного з дочірніх вузлів ієрархічної моделі [43].

2.4 Методи обробки даних «розумних міст» на основі ШІ

Інформаційно-технологічна платформа аналітики даних «розумного міста» є інтелектуальним хмарним рішенням, що забезпечує універсальну структуру аналізу міських даних [44]. Досліджувана структура складається з трьох основних компонентів:

1. збір даних – спрямований на отримання інформації з різного периферійного обладнання, розміщеного по всьому місту;

2. аналіз даних – етап, на якому виявляються помилки, екстремальні значення, нормальні та аномальні дані; описова статистика кожного аналітичного методу збирається та перетворюється у заздалегідь визначений стандартний формат для подальшої обробки;

3. прийняття рішень – етап, що використовує результати аналізу для оцінки стану міського середовища, пропонує рішення та довгострокові рекомендації для міських управлінців [7].

«Розумні міста» стикаються з проблемою надмірної кількості даних, що генеруються різноманітним інтелектуальним обладнанням. Цей надлишок ускладнює роботу міських менеджерів та систем «розумного міста» і потребує попереднього управління для забезпечення ефективності опрацювання даних та отримання якісних результатів аналізу великих даних (Big Data). З метою підвищення ефективності дані автоматично групуються за сімома доменами діяльності та закріплюються за конкретними слотами аналізу великих даних.

Процес збору даних ускладнюється специфікою обладнання для їх фіксації. Типи даних варіюються від відеопотоків до рядкових значень або часових міток і мають збиратися пристроями IoT. Для забезпечення сумісності з алгоритмами машинного навчання (ML) дані підлягають конвертації в числові одиниці виміру у визначеному форматі [45]. Відеодані потребують спеціальних процедур перетворення формату пікселів у форму рядків або векторів. Попередня обробка зібраних даних є критично важливим етапом, що дозволяє опрацьовувати широкий спектр відсутньої інформації та пропущених значень у наборах даних.

Вхідні дані опрацьовуються в секції інженерії даних: вони маркуються для створення розмічених наборів даних, а також готуються нерозмічені дані для подальшого використання в моделях ML із учителем (supervised) або з частковим залученням учителя (semi-supervised). Секція інженерії даних потребує залучення профільних експертів і є трудовитратним процесом для фахівців із попередньої обробки [46]. Приклад організації цього процесу подано в Таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Методи ШІ для обробки міських даних у розумних містах [5]

Метод	Опис	Алгоритми	Сфери застосування
Розпізнавання образів	Автоматичне виявлення, локалізації та класифікації об'єктів у візуальних даних на основі згорткових нейронних мереж	CNN / ResNet, YOLO / Швидший R-CNN, семантична сегментація, трансформатор зору (ViT)	Детектування піходів, відстеження транспорту, виявлення пожежі та розпізнавання реєстраційних знаків
Відеоаналітика	Автоматизоване опрацювання відеопотоків у реальному часі для виявлення подій, трекінгу об'єктів та аналізу просторово-часових закономірностей	MOT / DeepSORT, оптичний потік, виявлення аномалій, оцінка пози	Виявлення моніторингу транспортного потоку, порушення ПДР та оцінювання щільності на товпу
Хмарні платформи зберігання та опрацювання даних	Розподілені інфраструктури для масштабованого зберігання та обробки гетерогенних міських даних у потоковому та пакетному режимах	Озеро даних / Сховище даних, Apache Kafka / Spark, Cassandra / ClickHouse, Faiss / Pinecone	Зберігання даних IoT-сенсорів, опрацювання телеметрії та підтримка платформи прийняття рішень
Методи попередньої обробки даних	Процедури підготовки «сиріх» міських даних до аналітичного опрацювання: очищення, нормалізація та просторово-часове вирівнювання різнорідних джерел	KNN / MICE, IQR / Isolation Forest, Min-Max / Z-score, ETL-конвеєри, зіставлення карт	Підготовка даних IoT, формування навчальних виборів та усунення похибок датчиків

Розглянуті методи охоплюють повний ланцюжок обробки міських даних – від первинної підготовки та попередньої обробки до аналізу в режимі реального часу, – що підтверджує доцільність системного підходу до проектування інформаційно-технологічних платформ аналітики «розумного міста». Методи, орієнтовані на роботу з візуальними даними – розпізнавання образів та відеоаналітика, – знаходять найширше застосування у сферах громадської безпеки та управління транспортом, які характеризуються найвищим рівнем

етичного ризику щодо принципів конфіденційності, людського контролю та підзвітності. Водночас етап попередньої обробки даних залишається критично важливим і ресурсомістким елементом усього аналітичного ланцюжка, оскільки залежність від ручної розмітки та суб'єктивності експертної класифікації може спричиняти упередженість навчальних наборів даних і призводити до дискримінаційних зсувів в алгоритмічних рішеннях. Відтак ефективно аналітичне опрацювання міських даних вимагає свідомого врахування етичних вимірів на кожному етапі – від збору даних до прийняття управлінських рішень

2.5 Прогностична аналітика на основі ШІ у міському плануванні

Прогностична аналітика застосовує історичні дані для формування обґрунтованих і практично значущих прогнозів щодо потенційних майбутніх подій. У контексті аналітичного опрацювання даних «розумних міст» аналіз історичної інформації дозволяє прогнозувати та ефективно розподіляти наявні ресурси для задоволення потреб мешканців. На основі даних із фізичного світу моделі машинного навчання здатні формувати обґрунтовані прогнози соціальної динаміки, що уможлиблює своєчасне реагування муніципалітетів на специфічні потреби відповідно до прогнозованого розвитку подій. Цільове структурування міських даних забезпечує доступ до вищого рівня деталізації інформації про місто – як от, дозволяє спрогнозувати попит на таксі за кілька хвилин або щільність пасажиропотоку на станції метро у визначений час. Масштаб і потенційні переваги цих методів зумовили їх виокремлення в категорію «сервісів «розумного міста»» (Smart City Services), що здатні підвищити організованість, ефективність та безперебійність міських служб. Для доповнення процесів обробки міських даних виникли два додаткові виміри прогностичної аналітики: прогностичне моделювання та прогностична оптимізація [47]. Інтеграція цих вимірів у єдину аналітичну платформу дозволяє трансформувати сирі потоки даних з IoT-сенсорів у стратегічні рішення для міського планування.

Прогностичне моделювання, використовуючи історичні дані, трансформує параметри моделі машинного навчання в алгоритми, що кодують знання про

конкретний базовий процес, уможливаючи прийняття рішень або проведення аналізу. Воно стискає розуміння процесу, що зазвичай потребує тривалої оцінки, у компактну модель із високою швидкістю виконання. Це знаходить застосування у вдосконаленні диспетчерських рішень у транспортних системах – зокрема, при призначенні замовлень таксі, дотриманні графіку руху швидкісного автобусного транспорту та управлінні обслуговуванням пасажирів у метро. Розуміння фізичних процесів, що керують динамікою міста, також може бути виражене засобами прогностичного моделювання. Осмислення міських даних і динаміки через такі моделі сприяє розбудові більш ефективного міського середовища, оскільки навіть складна система може функціонувати злагодженіше за умови глибшого розуміння її внутрішніх процесів [48]. Завдяки цьому прогностичні моделі стають основою для побудови цифрових двійників, які відображають поточний стан інфраструктури в режимі реального часу.

У сферах доменно-специфічної оптимізації на основі ШІ синтезуються оптимальні стратегії, що забезпечують досягнення найкращих цілей планування та політики у заданий період з дотриманням як цільових показників, так і часових обмежень. Виокремлюється два джерела інформації, що визначають характер дій щодо подій: передбачувана поведінка індивідів та географічне й фізичне середовище, у якому ці події відбуваються. Схеми оптимізації ШІ уможливають планування та генерацію стратегій шляхом синтезу сценарію «подія – дія – простір» для досягнення поставленої мети. Оптимізаційні схеми ШІ також інтегрують з прогностичними моделями, що забезпечує глибше розуміння домену планування, скорочення часу його виконання та підвищення якості прийнятих рішень. У такому поєднанні прогностичне моделювання звужує область пошуку, обмежуючи аспекти міського середовища, що визначають підсумкову якість планування, тоді як оптимізація ШІ опрацьовує можливі варіанти у широкому просторі рішень, обираючи найкращі стратегії в межах звуженого стану [49]. Узагальнення практичного застосування прогностичних моделей у плануванні й аналітичному опрацюванні даних «розумного міста» на основі ШІ подано в Таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Прогностичні моделі в плануванні розумного міста [5]

Тип моделі	Опис	Алгоритми	Сценарії використання
Прогнозування часових рядів	Методи моделювання комбінацій спостережень у часі для виявлення тренду, сезонності та стохастичної складової з подальшою екстраполяцією на майбутній інтервал	ARIMA/SARIMA, Prophet (Meta), LSTM / GRU, ETS, Temporal Fusion Transformer	Прогнозування попиту на транспорт, навантаження на комунальні мережі та інтенсивність звернення до екстрених служб
Моделі глибокого навчання	Багатошарові нейронні мережі для ієрархічного виявлення нелінійних залежностей у мультимодальних міських даних без ручного конструювання	CNN, Graph Neural Networks, Transformer, Encoder-Decoder (U-Net), Reinforcement Learning (DQN, PPO)"	Моделювання землекористування, прогнозування якості повітря, виявлення аномалій та адаптивне керування дорожньою сигналізацією
Регресійні моделі	Параметричні методи кількісного оцінювання залежностей між цільовою змінною та предикторами із забезпеченням статистичної інтерпретованості результатів	Лінійна / поліноміальна регресія, Ridge / Lasso / ElasticNet, XGBoost/LightGBM, GWR, Панельна регресія	Прогнозування електроспоживання, оцінка дорожньої завантаженості та моделювання попиту на комунальні послуги
Гібридні моделі (ШІ + ОД)	Посаднання машинного навчання з математичною оптимізацією та імітаційним моделюванням для синтезу оптимальних управлінських рішень в умовах заданих обмежень	ML та ILP, DRL та VRP, ШІ та ABM, NEAT, CMA-ES, ML та Digital Twin	Диспетчерування аварійних бригад, оптимізація маршрутів вивезення відходів та сценарне моделювання міського середовища моделювання цифрового двійника

Представлена систематизація прогностичних моделей наочно демонструє, що ефективно аналітичне опрацювання даних «розумних міст» безпосередньо залежить від правильного вибору математичного апарату під конкретний тип міських процесів. Інтеграція методів ШІ, зокрема моделей глибокого навчання та гібридних алгоритмів з методами операційних досліджень, дозволяє трансформувати масиви просторово-часових даних міста у предиктивні сценарії високої точності. У контексті міського планування це формує надійну основу для

переходу від реактивного управління до проактивного, де кожне муніципальне рішення базується на випереджальному моделюванні соціальної, транспортної та екологічної динаміки. Таким чином, поєднання прогностичної аналітики та оптимізаційних схем ІІІ постає базовим інструментом інтелектуалізації сучасних «сервісів розумного міста», забезпечуючи системну синергію між обробкою великих даних та стратегічним плануванням міського середовища [50].

2.5.1 Прогнозування міського зростання

Міські регіони є центрами економічного зростання в сучасному світі та являють собою динамічні структури, що підтримують розвиток соціально-економічних мереж. Водночас неконтрольоване розширення міських територій зумовлює потенційно негативні наслідки для біорізноманіття, призводить до втрати середовищ існування та фрагментації ландшафту. Зростання міських регіонів стимулює будівництво та вдосконалення інфраструктури, що подекуди загрожує екологічній сталості. З огляду на це моніторинг і контроль міського зростання набули особливого значення для державних органів та природоохоронних організацій у пошуку належного балансу між екологічними вимогами та завданнями міського планування.

Зі стрімким розширенням міст моніторинг змін у землекористуванні став першочерговим завданням аналітичного опрацювання міських даних. Основною складністю такого моніторингу визнано значну площу міських регіонів, що унеможлиблює ручне відстеження у геопросторових та часових масштабах. Сучасні супутники дистанційного зондування забезпечують періодичне знімання земної поверхні в глобальному масштабі, а пасивні давачі супутникового базування надають зображення великих ділянок із різними типами категорій землекористування [51].

Супутникові знімки вважаються ефективним інструментом моніторингу міського зростання в режимі реального часу та розглядаються дослідниками як механізм раннього попередження й засіб підтримки планування. Базова ідея

полягає у виявленні вектора змін у часових рядах зображень шляхом зіставлення часового приросту забудованих територій із розростанням міст. Для надійного та точного прогнозування міського зростання розроблено передові моделі на основі клітинних автоматів, агентних методів, ШІ-моделей нейронних мереж, логістичної регресії, фракталів та методу опорних векторів.

Клітинні автомати (Cellular Automata, CA) є однією з найпоширеніших моделей прогнозування міського зростання завдяки простоті та порівняно легкій адаптивності. На основі принципів CA розроблено низку моделей і проведено тематичні дослідження в різних мегаполісах світу з метою виявлення міських змін. ШІ-моделі нейронних мереж також набули значного поширення завдяки здатності опрацьовувати багатовимірні вхідні дані та навчатися на них із застосуванням нелінійних функцій [52]. У контексті аналітичного опрацювання даних «розумних міст» поєднання цих підходів із інструментами ШІ формує потужну основу для автоматизованого моніторингу та прогнозування просторової динаміки міського середовища.

2.5.2 Моделі прогнозування трафіку

Прогнозування трафіку відіграє вирішальну роль у зменшенні транспортних заторів – критичної глобальної проблеми, що зумовлює негативні наслідки у вигляді втрат часу в поїздках та збільшення споживання пального. Інтеграція новітніх технологій у транспортні системи «розумних міст» створює значні можливості для вдосконалення методів прогнозування дорожнього руху та підвищення ефективності аналітичного опрацювання транспортних даних.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділено досягненням у методах прогнозування на основі ШІ з акцентом на моделюванні багатовимірних часових рядів трафіку. У межах цього підходу систематизовано різні типи даних та ресурси, що використовуються в літературі; класифіковано основні методи попередньої обробки даних у контексті транспортних систем; узагальнено методи прогнозування та сфери їх застосування, а також визначено ключові виклики та перспективні напрями майбутніх досліджень у цій галузі.

З огляду на динамічну та невизначену природу дорожнього руху прогнозування трафіку є доцільною складовою розвитку «розумних міст». Дослідження структурується за такими категоріями:

- попередня обробка даних;
- методи прогнозування;
- сфери застосування.

Визначено та описано типи даних, їхні ресурси й джерела, а також ключові методи попередньої обробки. Сформовано комплексну класифікацію у межах трьох груп щодо застосування кожного методу; виокремлено 14 методів прогнозування трафіку, розподілених на класичні, статистичні та засновані на ШІ (Рисунок 2.2).

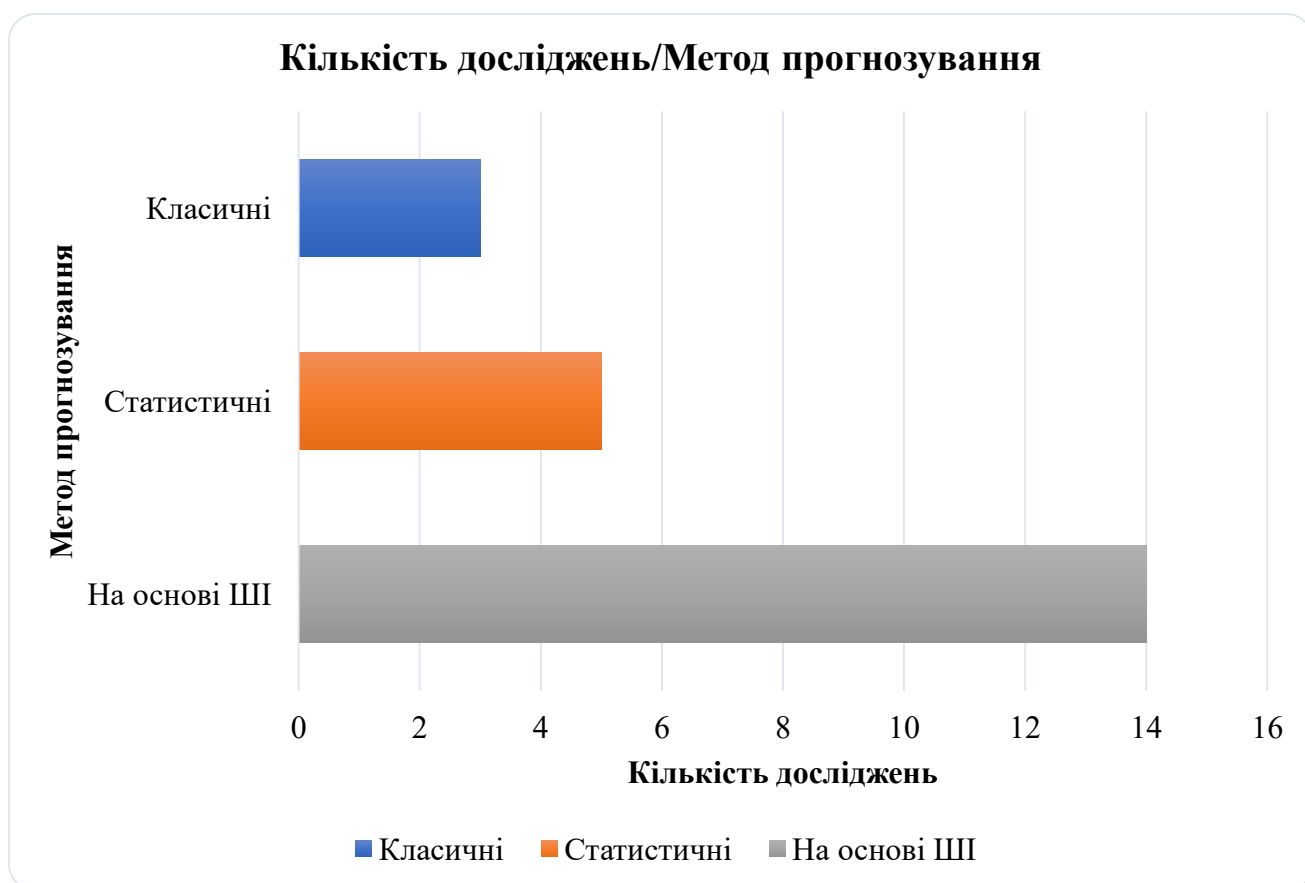


Рисунок 2.2 – Порівняння методів прогнозування дорожнього руху [5]

Точне визначення інтенсивності дорожнього руху на найближчу перспективу дозволяє адаптивним системам керування дорожнім рухом (ATCS) оптимізувати програму роботи світлофорів з метою мінімізації заторів. За умови

застосування на декількох перехрестях прогнозований затор розподіляється між ними для зниження загальних негативних наслідків для пропускної спроможності вуличної мережі. Точні прогнози слугують індикатором для заміни поточного плану управління на більш відповідний. Найефективнішим способом попередньої обробки даних визнано використання простого ковзного середнього без часової мітки як вхідного параметра, що дозволяє генерувати прогноз, спираючись виключно на дані про транспортний потік за останні кілька хвилин без урахування точного часу. Надійність такого підходу підтверджується перехресною перевіркою архітектур із використанням різних наборів даних [53].

2.5.3 Прогнозування впливу на довкілля

Прогнозування екологічних наслідків та змін у довкіллі охоплює оцінювання результатів функціонування транспортних систем та управління твердими побутовими відходами для екології. Зазначені прогнози моделюються із застосуванням методів ШІ, зокрема глибокого навчання, машинного навчання та навчання з підкріпленням. Методи ШІ використовуються для моделювання часових рядів забруднювачів повітря, які подаються в алгоритм XGBoost для прогнозування роботи транспортних систем та моделювання забруднення. Моделі типу seq2seq на основі глибокого навчання успішно прогнозують часові ряди екологічних наслідків функціонування систем управління муніципальними відходами. Для прогнозування екологічних змін, зумовлених розвитком транспортних систем, у декількох містах одночасно застосовуються випадковий ліс (Random Forest) та регресія опорних векторів (SVR). Навчання з підкріпленням у поєднанні з графовими нейронними мережами дозволяє моделювати динаміку стану середовища у просторово-часовій перспективі.

У межах «розумних міст» ШІ переважно аналізує зумовлені антропогенними чинниками екологічні зміни з часового аспекту. Наслідки для довкілля – це позитивні або негативні ефекти послуги чи процесу на навколишнє середовище; позитивні зрушення, зокрема покращення екологічної якості, кваліфікується як екологічна вигода. Екологічні аспекти – це ознаки, що

визначають параметри послуги чи процесу і класифікуються за типом джерела, регіоном та зоною поширення ефектів. Транспортна система та система управління відходами є основними сервісами масових потоків у «розумних містах», і системи на базі ШІ здійснюють моніторинг цих галузей за різними параметрами. Зважаючи на кількісні та часозалежні характеристики екологічних наслідків функціонування транспорту й систем утилізації відходів, методи ШІ є оптимальними інструментами для їх прогнозування в рамках аналітичного опрацювання міських даних [28].

Прогнозуванню часових рядів приділяється дедалі більша увага: методи машинного навчання та глибокого навчання застосовуються для моделювання забруднювачів повітря завдяки їхній високій інтерпретованості та ефективності. Зокрема, мережі довгострокової короткострокової пам'яті (LSTM) використовуються для оцінки транспортного навантаження на атмосферу, тоді як прогнози концентрації CO, NO₂, O₃, PM10 та PM2.5 застосовуються для моделювання зайнятості водіїв таксі, що дозволяє опосередковано запобігати зростанню кількості користувачів через навчання з підкріпленням.

Запропонований підхід до моделювання на основі випадкового лісу та регресії опорних векторів забезпечує прогнозування ефектів, що їх чинять транспортні системи на землекористування, енергоспоживання та викиди CO₂ у межах прикордонних обчислень. Навчання з підкріпленням разом із графовими нейронними мережами використовується для моделювання екологічних наслідків розвитку систем метрополітену в просторово-часовому розрізі з урахуванням топологічної структури видів транспорту та розподілу землекористування [54].

Таким чином, аналітичне опрацювання екологічних даних «розумних міст» засобами ШІ переважно вирішує питання оцінювання динаміки міського екологічного стану з позиції часової послідовності, формуючи інструментальну осно ву для сталого управління міським середовищем [55].

2.6 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи описано моделі штучного інтелекту та їх концептуальні засади функціонування. Проаналізовано вплив моделей штучного інтелекту на аналітичне опрацювання даних «розумних міст». Досліджено використання моделей ШІ для застосунків «розумних міст». Також описано методи обробки даних «розумних міст» на основі ШІ. Проведено прогностичну аналітику на основі ШІ у міському плануванні, а саме: прогнозування міського зростання, прогнозування трафіку та прогнозування впливу на довкілля.

3 МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТА ІНФРАСТРУКТУРОЮ РОЗУМНИХ МІСТ

3.1 Методи оптимізації підсистем «розумних міст» на основі ШІ

Оптимізація різноманітних операцій є доцільною умовою ефективного та сталого функціонування «розумних міст». Значні обсяги даних генеруються різними давачами та пристроями інтернету речей (IoT), розгорнутими по всьому місту, а алгоритми оптимізації використовують ці дані для покращення якості життя мешканців. «Розумне місто» досліджується з позиції оптимізації з детальним описом релевантних і широко застосовуваних алгоритмів та моделей, а також з огляду поточних досліджень, відкритих проблем і перспективних напрямів подальшої роботи [56].

Розглядаються конкретні випадки оптимізації в межах «розумних міст». Проведено огляд прикладних рішень для кожного випадку з класифікацією за цілями завдань оптимізації та їхніми обмеженнями, з акцентом на різних аспектах життєдіяльності міста та його операційних процесів. Здійснено огляд літератури щодо алгоритмів оптимізації, що використовуються в цій галузі, зокрема детальну інформацію про поширені комерційні та відкриті (open-source) солвери [57]. Окремо розглядаються результати діяльності ініціативи «розумного міста» (Smart Cities Initiative), а також інформаційно-технологічні платформи відкритих даних і масиви інформації про населення й соціально-економічні показники міст, надані для подальших досліджень.

Сучасні наукові джерела охоплюють підходи до моделювання та розв'язання задач як в академічному, так і в промисловому секторах. Зокрема, розглядається оптимізація маршрутизації міських автобусів – надійний та адаптивний алгоритм планування багатооб'ємних графіків руху й роботи водіїв. Висвітлено питання проектування та розміщення систем екологічного велосипедного транспорту з описом нової моделі змішано-цілочисельного квадратичного програмування для оптимізації локацій станцій громадського прокату велосипедів. Окремо розглядається аналіз та прогнозування мобільності

людей із застосуванням підходу на основі мультимодального графового глибокого навчання для просторово-часового прогнозування переміщень на основі гетерогенних джерел даних. Систематизацію методів оптимізації та їх застосування в «розумних містах» подано в Таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Методи оптимізації та їх застосування в розумних містах [5]

Метод	Опис	Алгоритми	Сфера застосування
Генетичний алгоритм	Імітує механізми природного відбору для ітеративного вдосконалення популяції розв'язків у задачах з нелінійними цільовими функціями	SGA, NSGA-II / NSGA-III, Island GA, диференціальна еволюція (DE)	Оптимізація розподілу міських ресурсів, розрахунок циклів світлофорів та проектування маршрутних мереж транспорту
Лінійне програмування	Знаходить екстремум лінійної цільової функції на множині допустимих рішень із гарантією глобально оптимального розв'язку	Симплекс-метод, IPM, ILP / MILP, стохастичне програмування	Оптимізація розподілу електроенергії, планування маршрутів вивезення відходів та розподіл бюджетних асигнувань
Навчання з підкріпленням	Формує оптимальну стратегію керування шляхом максимізації накопиченої винагороди у взаємодії з середовищем	Q-learning / DQN, PPO, Multi-Agent RL, Actor-Critic (A3C, SAC)	Адаптивне керування транспортом, оптимізація розумних енергомереж та динамічне ціноутворення на міські послуги
Графові нейронні мережі	Моделюють реляційні залежності між просторово розподіленими об'єктами інфраструктури шляхом агрегування контексту з топологічного оточення вузлів графа	GCN, GAT, STGCN / DCRNN, HetGNN	Прогнозування транспортних потоків, моделювання збоїв у комунальних мережах та аналіз вразливості дорожньої інфраструктури

Представлені в таблиці методи оптимізації охоплюють широкий спектр задач аналітичного опрацювання даних у підсистемах «розумного міста» – від управління транспортними потоками до розподілу енергетичних ресурсів. Вибір конкретного методу визначається характером задачі: генетичні алгоритми та лінійне програмування є ефективними для статичних або слабодинамічних оптимізаційних задач, тоді як навчання з підкріпленням і графові нейронні мережі орієнтовані на адаптивне управління в умовах неперервних змін міського

середовища. Сучасні підходи дедалі частіше поєднують кілька методів у гібридних архітектурах, що дозволяє компенсувати обмеження окремих алгоритмів і підвищити точність аналітичних моделей. Таким чином, інтеграція зазначених методів у єдину аналітичну платформу «розумного міста» є перспективним напрямом для забезпечення інтелектуального управління ресурсами, енергоспоживанням та міською інфраструктурою [58].

3.1.1 Моделі розподілу ресурсів

Проблеми розподілу ресурсів динамічно виникають у більшості ключових доменів функціонування сучасного урбанізованого середовища, зокрема у логістиці громадського транспорту, балансуванні енергомереж, управлінні безпілотними літальними апаратами (БПЛА) для моніторингу простору тощо. В умовах жорсткого скорочення муніципальних бюджетів на тлі стрімкої глобальної урбанізації виникає критична потреба в автоматизованому моніторингу та інтелектуальному аналітичному опрацюванні великих масивів даних щодо використання обмежених ресурсів міської інфраструктури. Застосування алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) дозволяє трансформувати дискретні потоки телеметрії у предиктивні моделі, забезпечуючи мінімізацію витрат та оперативне реагування на дефіцит потужностей у реальному часі. Відтак ефективна обробка вхідних даних стає технологічним фундаментом для побудови гнучких моделей розподілу, здатних адаптуватися до нелінійних коливань попиту мешканців міста..

Системний огляд охоплює прикладні задачі розподілу ресурсів у стратегічних галузях життєдіяльності, включаючи компоненти розумної енергетики, інтелектуальне керування трафіком, координацію збору побутових відходів, сервіси розумних таксі, просторову дистрибуцію дронів та оптимізацію логістичних ланцюгів постачання продуктів харчування. Ресурсами «розумного міста» у межах цього аналізу виступають як об'єкти фізичної інфраструктури, так і цифрові муніципальні послуги, де пріоритетній оптимізації підлягають кількісний склад автопарків і безпосередній оперативно-просторовий розподіл

активів. Математичні методи й алгоритми ШІ, що залучаються для розв'язання цих складних оптимізаційних задач, варіюються від класичних комбінаторних методів до сучасних інтегрованих підходів на основі імітаційного моделювання дискретних подій та глибокого навчання з підкріпленням [57]. Такий синергетичний інструментарій забезпечує високу точність прийняття рішень в умовах стохастичного міського середовища, знижуючи навантаження на обчислювальні платформи обробки великих даних.

Практичне застосування моделей розподілу ресурсів на основі аналітичного опрацювання даних у концепції «розумних міст» наведено на Рисунку 3.1.

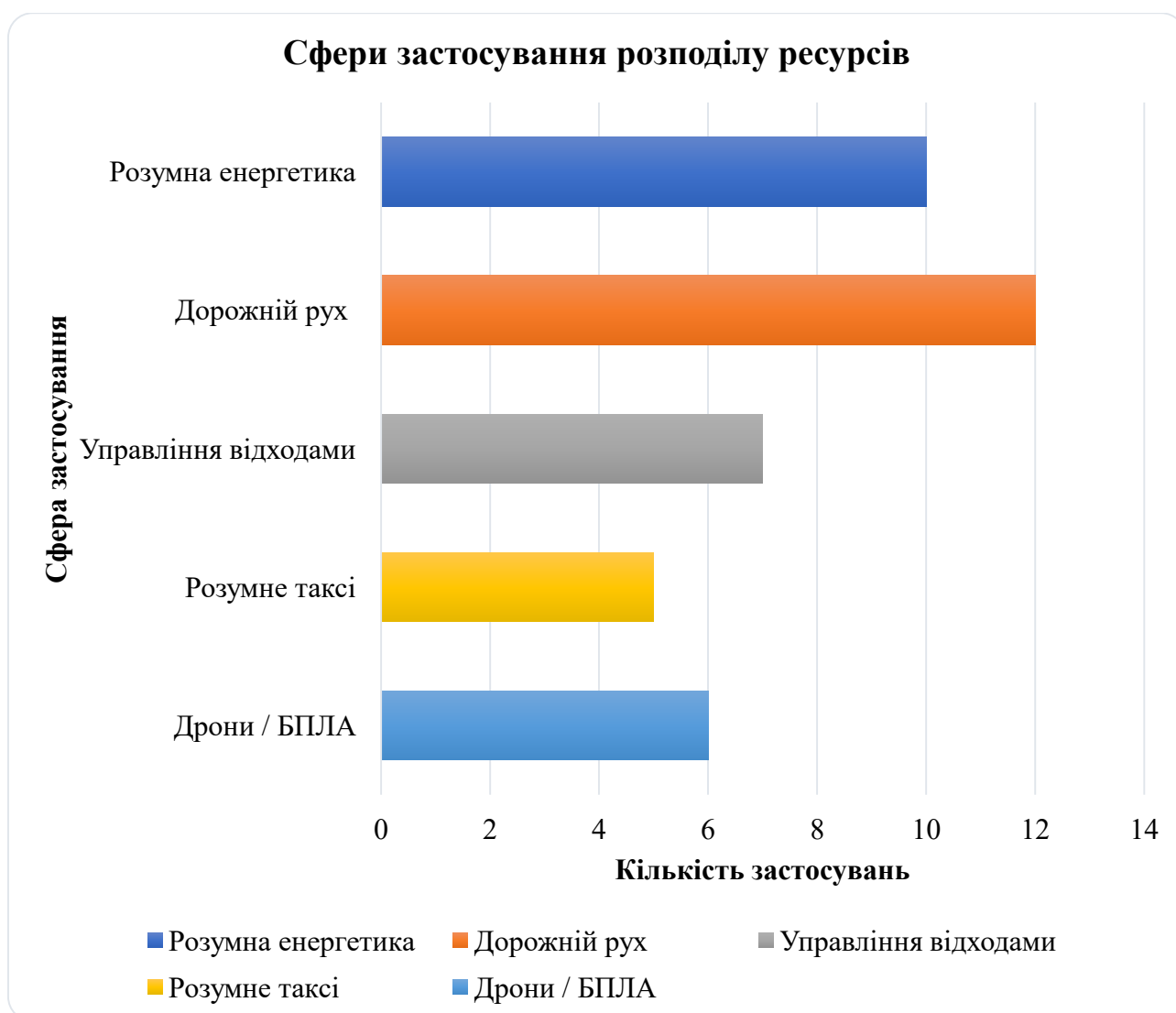


Рисунок 3.1 – Практичне застосування розподілу ресурсів у розумних містах [5]

Основні застосунки оптимізації розподілу ресурсів у «розумних містах» на базі IoT класифіковано на п'ять підкатегорій:

- «Розумна енергетика».
- «Трафік».
- «Управління відходами».
- «Розумні таксі».
- «Дрони» (включно з доставкою дронами та доставкою їжі).

Математична природа задач оптимізації розподілу ресурсів є надзвичайно різноманітною, а самі задачі нерідко є обчислювально складними. Методи розв'язання комбінаторних задач розподілу ресурсів варіюються від точних до наближених. Оскільки більшість таких задач ґрунтується на евристичному припущенні локальної оптимізації, доцільним є застосування горизонту планування для розгляду методів, які є оптимальними або близькими до оптимальних для задачі релаксації після оцінювання фізичних, раціональних або структурних обмежень для попередньо зарезервованого розподілу ресурсів .

3.1.2 Системи управління енергоспоживанням

Міста споживають понад 70% світової енергії та генерують 75% глобальних викидів CO₂. Відтак управління енергією стає критичним питанням для зниження енергетичних витрат, забезпечення екологічної та економічної сталості й підвищення якості життя громадян [59]. У контексті «розумного міста» розв'язуються завдання менеджменту та оптимізації енергоспоживання із застосуванням методів ШІ в таких процесах, як транзакційне управління енергією, прогнозування стану систем, раннє попередження в управлінні відходами, прогнозування трафіку, а також розробка стратегій міського кооперативного планування [60].

Управління енергією в містах розглядає структуру, де енергія надходить від оператора системи розподілу (Distribution System Operator, DSO) до споживачів – зокрема багатоповерхових комерційних комплексів, кампусів тощо. Ці споживачі керують власним прогнозуванням, ціноутворенням та

споживанням за допомогою інструментів прогнозування цін, навантаження та прозорості лімітів. ШІ відіграє ключову роль у цих інтелектуальних процесах: методи навчання без учителя, зокрема кластеризація, застосовуються для виявлення суміжних споживачів зі схожими профілями навантаження, що враховується при розробці цінової політики. Окремим завданням є управління батареями та накопичувачами енергії, розміщення яких має враховувати не лише економічні чинники, а й обмеження максимальної розрахункової потужності вузлів споживання.

Управління енергоспоживанням у житловому секторі поділяється на дві категорії: регулювання попиту та оптимізація постачання. Регулювання попиту визначає критичні періоди надмірного навантаження і спрямоване на перенесення основних енергетичних потреб на періоди меншого навантаження. Для цього застосовуються методи оптимізації з евристичними або вичерпним пошуком, які потребують значних обчислювальних ресурсів. Також існують підходи, що враховують модель енергомережі та стан постачання. Аналітичне опрацювання енергетичних даних «розумних міст» засвідчує, що за останнє десятиліття значно зріс інтерес до методів, заснованих виключно на ШІ, для функціонування сервісів управління енергією в межах транзакційних систем, що підтверджує перспективність їхнього впровадження як інструменту інтелектуального управління енергетичною інфраструктурою міста.

3.1.3 Оптимізація транспортних систем

Задачі транспортної оптимізації в домені «розумного міста» різняться за вхідними даними, результатами, обмеженнями та цілями. Системи керування міським трафіком використовуються для оцінювання транспортних потоків на перехрестях і коригування сигналів світлофорів з метою оптимізації часу подорожей у межах міста. Ці системи функціонують за принципом замкненого циклу (closed-loop) або розімкненого (open-loop). Система замкненого циклу коригує фази світлофорів на основі поточного оцінювання часу в дорозі та потоку даних у режимі реального часу [57], тоді як система розімкненого циклу

оптимізує модель початкового нульового трафіку, що перевіряється на статичному наборі даних. Керування в замкненому циклі є NP-важкою задачею; наближений розв'язок знаходиться за допомогою біоінспірованої евристики – «алгоритму реактивного острова» (reactive island algorithm) – на різних топологіях, включаючи реалістичні плани міст.

Оцінювання наслідків будь-якого транспортного втручання до його практичного впровадження є самостійною задачею оптимізації та може бути змодельоване як марковський процес прийняття рішень (MDP) на основі симуляції. Це передбачає дискретизацію типів можливих втручань обчислювально складним способом, що потребує застосування відповідних інструментів аналітичного опрацювання транспортних даних «розумного міста».

Окремою задачею транспортної оптимізації є керування вертикальною мобільністю та логістикою у висотних будівлях ділових районів, де агентами виступають користувачі ІТ-систем цих будівель. Користувачі обирають між вертикальним транспортом (ліфтовими системами), що пропонуються операторами інфраструктури будівель, та горизонтальним переміщенням, ефективність якого залежить від дорожнього трафіку. Для заохочення користувачів до вибору внутрішньобудинкових сервісів застосовується механізм формування тарифів із використанням нелінійних і нероздільних стратегій споживчого ціноутворення. При цьому враховуються рівні задоволеності агентів і власників, щільність трафіку та пропускна здатність ліфтових шахт і вуличної мережі. Гібридний алгоритм оптимізації поєднує пошукові можливості генетичного алгоритму з властивостями локального покращення методу імітації відпалу (Simulated Annealing) для формування стратегій, що наближаються до конкурентної рівноваги. Таким чином, інтеграція зазначених методів у системи аналітичного опрацювання даних «розумного міста» забезпечує інтелектуальне управління транспортною інфраструктурою та підвищення ефективності міської мобільності.

3.2 Модель структури етичного впливу ШІ на розумні міста

3.2.1 Описова модель структури етичного впливу ШІ на розумні міста

На основі ієрархічного підходу до аналізу «розумних міст» запроваджуються функції оцінювання ефектів для кожного рівня ієрархічної моделі.

Визначення функції оцінювання етичних наслідків:

Нехай EP – набір із n прийнятих етичних принципів:

$$EP = \{P_{Eth_1}, \dots, P_{Eth_n}\} \quad (3.1)$$

Нехай I – набір рівнів впливу:

$$I = \{Low, Mid, High, Very High\} \quad (3.2)$$

і нехай M – об'єкт, що розглядається. Ми визначаємо функцію для вимірювання впливу M на набір етичних принципів EP як кортеж із n елементів, що належать до I :

$$f_{I(M)} = (f(M; P_{Eth_1}), \dots, f(M; P_{Eth_n})) \quad (3.3)$$

Для кожного вузла ієрархічної моделі, зображених на рисунку 3.2, визначаються відповідні оціночні функції.

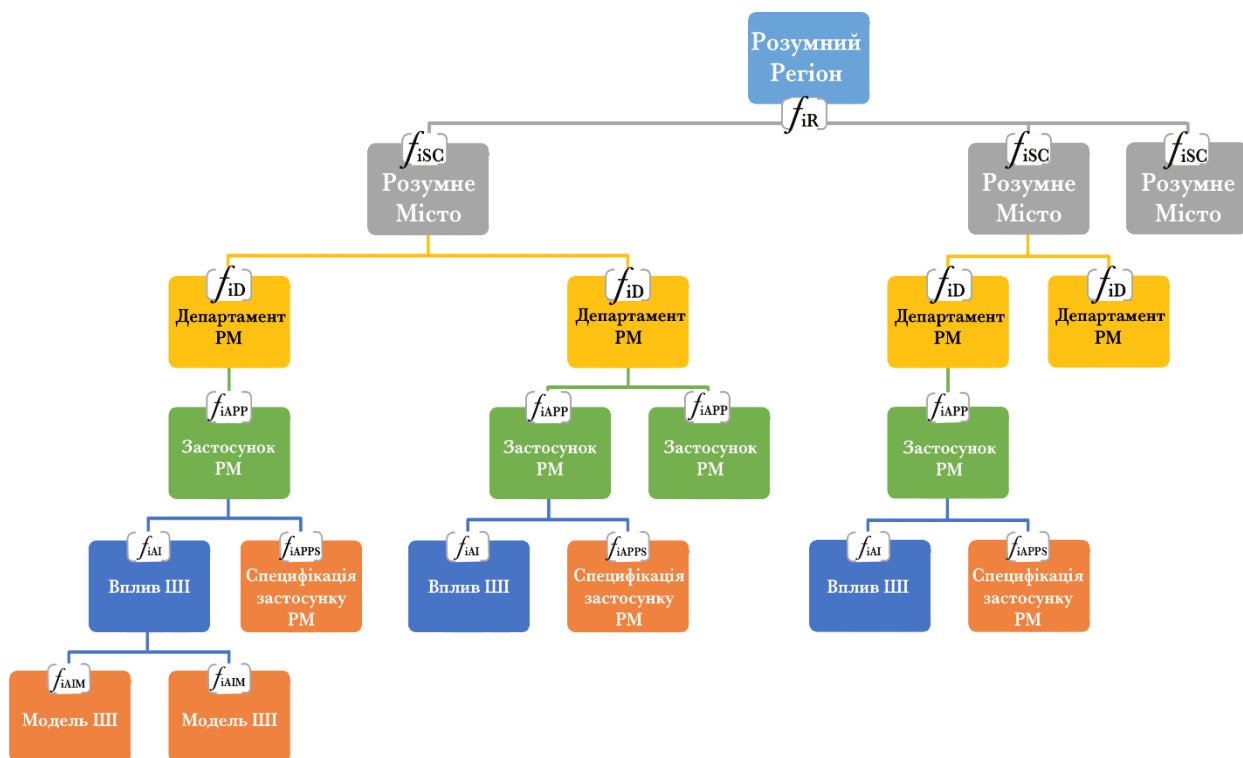


Рисунок 3.2 – Ієрархія складної системи розумного міста та функції впливу [34]

Маючи набір застосунків, що належать до проекту «розумне місто», та набір прийнятих етичних принципів, впроваджуємо систему вимірювання для оцінки впливу вертикальних застосунків на етичні принципи, визначаючи таким чином рейтинг впливу «розумного міста» на ці принципи за підходом «згори донизу» – від вузлів верхнього рівня ієрархії до її «листочків».

Дано набір із m підключених «розумних міст», тоді визначаємо функцію для вимірювання впливу «розумного регіону» (набору визначених «розумних міст») на етичні принципи як:

$$f_{iR}(f_{iSC1}, \dots, f_{iSCm}) = \begin{cases} f_{iSC1} = (f(SC_1; P_{Eth_1}), \dots, f(SC_1; P_{Eth_n})) \\ \dots \\ f_{iSCm} = (f(SC_m; P_{Eth_1}), \dots, f(SC_m; P_{Eth_n})) \end{cases} \quad (3.4)$$

Дано набір із s департаментів «розумного міста» 1 (SC1), де визначаємо функцію для вимірювання впливу «розумного міста» (набору визначених департаментів) на етичні принципи як:

$$f_{iSC1}(f_{iD1}, \dots, f_{iDs}) = \begin{cases} f_{iD1} = (f(D_1; P_{Eth_1}), \dots, f(D_1; P_{Eth_n})) \\ \dots \\ f_{iDs} = (f(D_s; P_{Eth_1}), \dots, f(D_s; P_{Eth_n})) \end{cases} \quad (3.5)$$

Дано набір із r застосунків «розумного міста» департаменту 1 (D1), де визначаємо функцію для вимірювання впливу департаменту «розумного міста» (набору визначених застосунків «розумних міст») на етичні принципи як:

$$f_{iD1}(f_{iAPP1}, \dots, f_{iAPP_r}) = \begin{cases} f_{iAPP1} = (f(APP_1; P_{Eth_1}), \dots, f(APP_1; P_{Eth_n})) \\ \dots \\ f_{iAPP_r} = (f(APP_r; P_{Eth_1}), \dots, f(APP_r; P_{Eth_n})) \end{cases} \quad (3.6)$$

Дано набір із t моделей III, що використовуються застосунком «розумного міста» 1, де визначаємо функцію для вимірювання впливу III на застосунок «розумного міста» (набору визначених моделей III) на етичні принципи як:

$$f_{iAI1}(f_{iAIM1}, \dots, f_{iAIM_t}) = \begin{cases} f_{iAIM1} = (f(AIM_1; P_{Eth_1}), \dots, f(AIM_1; P_{Eth_n})) \\ \dots \\ f_{iAIM_t} = (f(AIM_t; P_{Eth_1}), \dots, f(AIM_t; P_{Eth_n})) \end{cases} \quad (3.7)$$

Для застосунку «розумного міста» 1 визначаємо функцію для вимірювання впливу специфікації цього застосунку «розумного міста» на етичні принципи як:

$$f_{iAPPS1}: (f(APPS_1, P_{Eth_1}), \dots, f(APPS_1, P_{Eth_n})) \quad (3.8)$$

Нарешті, для застосунку 1 «розумного міста» (SCApp1) можемо визначити функцію для вимірювання його впливу на n етичних принципів як функцію, що залежить від впливу його специфікації (1.6) та впливу його моделей III (1.5):

$$f_{iAPP1}: (f_{iAPPS1}, f_{iAI1}) \quad (3.9)$$

Підсумовуючи вище подане визначаємо дві базові функції етичного впливу та п'ять агрегованих функцій етичного впливу.

Базові функції етичного – в впливу:

- 1) f_{iAM} : функція для вимірювання впливу моделі III на етичні принципи.
- 2) f_{iAPPS} : функція для вимірювання впливу застосунку «розумного міста» (специфікацій застосунків «розумних міст») на етичні принципи.

Агреговані функції етичного впливу:

- 1) f_{iAI} : функція для вимірювання впливу всіх моделей III, що використовуються застосунком «розумного міста», на етичні принципи.
- 2) f_{iAPP} : функція для вимірювання впливу застосунку «розумного міста» (на основі специфікацій застосунків «розумних міст» та впливу кожної моделі III, що ним використовується) на етичні принципи.
- 3) f_{iD} : функція для вимірювання впливу департаменту «розумного міста» (набору визначених застосунків розумного міста) на етичні принципи.
- 4) f_{iSC} : функція для вимірювання впливу «розумного міста» (набору визначених департаментів «розумних міст») на етичні принципи.
- 5) f_{iR} : функція для вимірювання впливу розумного регіону (набору визначених «розумних міст») на етичні принципи.

3.2.2 Візуальна модель структури оцінки етичного впливу ІІІ на «розумні міста»

Візуальна модель узагальнює для кожного застосунку «розумного міста» чотирирівневу шкалу ефектів, що виникають у межах кожного етичного принципу. З метою аналізу розглядаються вісім застосунків «розумного міста» відповідно до таблиці 2.2, а для розрахунків використовується частота впровадження моделей ІІІ для кожного застосунку згідно з таблицею 3.2

Таблиця 3.2 – Застосунки «розумного міста» та моделі ІІІ [34]

Моделі ІІІ	Врядування, цифровізація та освіта	Розумне сільське господарство	Розумна енергетика	Розумна безпека	Розумне міське планування та мережі	Розумне управління відходами	Розумне водопостачання	Транспорт	Всього
Штучні нейронні мережі	1		1	1			2	1	6
Згортова нейронна мережа				1	1	2			4
Нечітка логіка			2						2
Генетичний алгоритм			1			1			2
Метод К-середніх	1	1							2
Багатошаровий перцептрон	1	1							2
Рекурентна нейронна мережа								1	1
Метод опорних векторів	1						1		2
Регресія опорних векторів			1		2				3
Всього	4	2	5	2	3	3	3	2	52

Для розрахунку функції f_{iAI} (сукупних ефектів усіх моделей ІІІ, що використовуються застосунком «розумного міста») застосовується середнє арифметичне значення оцінок кожного методу ІІІ у розрізі етичних принципів. Частота, з якою ІІІ та інструменти на його основі використовуються в контексті «розумного міста», неухильно зростатиме в найближчі роки. Відтак значна кількість проєктів – пов'язаних з інфраструктурою, дозвіллям чи охороною довкілля – реалізовуватиметься суб'єктами державного та приватного секторів [38] шляхом просування імперативів безпеки, інклюзивності та сталості (Ціль сталого розвитку ЦСР 11) у «розумних містах». Проте застосування ІІІ та

На цій основі запропоновано структуру для оцінювання та моніторингу наслідків реалізації проєктів «розумних міст» на базі ШІ в межах конкретних застосунків. Доведено, що зростаюча варіативність інструментів і застосунків ШІ у «розумних містах» потребує систематичного підходу до аналізу потенційних ризиків у сфері етики. Зазначена проблема розв'язується шляхом запровадження ієрархічної структури оцінювання для кількісного визначення ефектів ШІ на дотримання етичних принципів упродовж усього життєвого циклу реалізації проєктів «розумних міст». Структура базується на визначенні градації ефектів за чотирирівневою шкалою: дуже високий, високий, середній та низький рівні.

3.3 Застосунки розумних міст

Від моменту свого первісного формування концепція «розумного міста» суттєво змінилася завдяки послідовним технологічним інноваціям та мінливим потребам міського врядування [61]. Відповідно, відбулася значна еволюція застосунків «розумних міст» та сфер їхнього використання. У науковій літературі [62] поширеною є така типологія доменів та відповідних застосунків::

- Врядування та цифровізація.
- Розумне сільське господарство.
- Розумна енергетика.
- Розумна безпека.
- Розумне міське планування та мережі.
- Розумне управління відходами.
- Розумне виробництво.
- Розумна освіта.
- Розумне водопостачання.
- Розумні електромережі (Smart grid).
- Розумний транспорт.
- Моніторинг безпеки.

- Розумне управління будівлями.
- Датчики пожежі.

Доцільно розглядати зазначені застосунки через призму їхніх функцій. У наукових джерелах [63] виокремлюються чотири функціональні сфери:

1. Громадські послуги – категорія, зосереджена на використанні технологій для покращення надання та підвищення ефективності сервісів, що пропонуються безпосередньо мешканцям міста.
2. Громадська безпека – категорія, що використовує технології для підвищення рівня захищеності та безпеки мешканців і відвідувачів.
3. Міське врядування – категорія, що фокусується на застосуванні технологій для вдосконалення процесів прийняття рішень та загального управління містом.
4. Розумна промисловість – категорія, зосереджена на інтеграції технологій у різні галузі промисловості міста для підвищення ефективності, сталості та продуктивності.

Типологія застосунків «розумних міст» забезпечує низку управлінських переваг, пропонуючи структурований підхід до планування, впровадження та управління відповідними ініціативами. Це полегшує оцінювання результативності, уможливорює порівняння між подібними ініціативами та надає цінні дані для постійного вдосконалення й оптимізації. Важливо також враховувати, що системи ШІ здатні зумовлювати ефекти в міському середовищі на багатьох рівнях – від окремих мешканців до місцевих громад, районів, організаційних структур і ширших екосистем, що поєднують міста між собою [64]. Незважаючи на відмінності між застосунками, принципово важливим є те, що вони розроблені для взаємодії та збору даних, що посилює співпрацю між усіма сервісами та службами [65]. Для цілей дослідження розроблено відповідну скориговану типологію застосунків, яку подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Категорії застосунків розумних міст [34]

Громадські послуги	Громадська безпека	Міське управління	Розумна індустрія
Розумна освіта	Розумна безпека	Врядування та цифровізація	Розумне виробництво
Розумне водопостачання	Моніторинг безпеки	Розумне міське планування	Розумна енергетика
Розумне управління відходами	Пожежні датчики	Розумне управління будівлями	
Розумні електромережі			
Розумне сільське господарство			
Розумний транспорт			

Слід зазначити, що існують й інші варіанти категоризації залежно від конкретного контексту та умов впровадження, а між категоріями можливі певні перетини. Наприклад, «Розумна енергетика» може належати до «Громадських послуг», якщо йдеться про державне комунальне підприємство, або до «Міського врядування», якщо охоплює загальноміську енергетичну політику. Подібним чином «Розумна безпека» та «Моніторинг безпеки» можуть розглядатися як складова «Міського врядування» у разі їх використання для контролю дорожнього руху або міського планування.

На основі характеристик і специфікацій застосунку «розумного міста» для кожного етичного принципу визначається градація ефектів за чотирирівневою шкалою: низький, середній, високий, дуже високий рівні.

Для формування єдиної оцінки застосунків розглядається з трьох точок зору [66]:

1. суспільство – зосередження на особистих і суспільних наслідках та можливих дискримінаційних особливостях застосунків;
2. дані – технічні виклики, пов'язані з елементами життєвого циклу даних;
3. впровадження – зосередження на наслідках реалізації конкретного плану або проєкту в напрямку «розумного міста»: стандартизація, масштабованість та власність на дані. Для кожного етичного принципу ми

повинні визначити компоненти, що його характеризують, і оцінити окремий застосунок «розмноженого міста» за визначеною чотирирівневою шкалою.

Спираючись на попередні дослідження [67], визначено компоненти, що характеризують кожен етичний принцип, та встановлено метод оцінювання для кожного з них. З метою деталізації аналізу розглядається перший етичний принцип – «Людський фактор і нагляд» [5]. Для формування повного набору вхідних даних структури необхідно представити основний компонент оцінювання для кожного етичного принципу. Градація наслідків визначається за чотирирівневою експертною шкалою, заснованою на структурі, запропонованій у літературі [27]:

Людські фактори і нагляд за ШІ:

1) Збір та обробка даних:

– Дуже високий рівень наслідків: спосіб збору, зберігання та аналітичного оброблення даних суттєво трансформує людську суб'єктність; порушення приватності або автономії під час фіксації даних може серйозно зачіпати права людини.

– Високий рівень наслідків: прозорі практики збору даних дозволяють користувачам приймати обґрунтовані рішення; натомість непрозорий або недобровільний збір інформації підриває суб'єктність.

– Середній рівень наслідків: анонімізація та агрегація даних забезпечують баланс між корисністю та приватністю.

– Низький рівень наслідків: мінімальний збір даних за явної згоди користувача.

2) Алгоритмічне прийняття рішень:

– Дуже високий рівень наслідків: алгоритми, що безпосередньо стосуються окремих осіб (наприклад, прогнозована поліцейська діяльність, кредитний скоринг), мають бути прозорими, інтерпретованими та підлягати людському нагляду.

– Високий рівень наслідків: справедливість, підзвітність та пом'якшення упередженості є критично важливими; втручання людини має бути можливим, коли алгоритмічні рішення зачіпають права та інтереси громадян.

- Середній рівень наслідків: регулярні аудити та оцінювання ефектів забезпечують відповідальне впровадження алгоритмів.

- Низький рівень наслідків: алгоритми з мінімальним суспільним резонансом (наприклад, рекомендаційні системи) можуть мати нижчі вимоги до нагляду.

3) Інтерфейс користувача та дизайн взаємодії:

- Дуже високий рівень наслідків: інтуїтивно зрозумілі інтерфейси розширюють можливості користувачів; прозорість щодо участі ШІ сприяє формуванню довіри.

- Високий рівень наслідків: чітке інформування про поведінку та обмеження системи.

- Середній рівень наслідків: зручні інтерфейси, що дозволяють користувачам змінювати налаштування.

- Низький рівень наслідків: базові інтерфейси без можливостей кастомізації.

4) Механізми людського нагляду:

- Дуже високий рівень наслідків: регулярні аудити, ради з підзвітності та механізми оскарження рішень ШІ.

- Високий рівень наслідків: незалежні наглядові органи.

- Середній рівень наслідків: внутрішні процеси перегляду рішень.

- Низький рівень наслідків: відсутність механізмів нагляду.

5) Співпраця людини та машини:

- Дуже високий рівень наслідків: системи, що доповнюють прийняття рішень людиною (наприклад, медична діагностика), потребують тісної взаємодії; внесок людини має зберігати свою ціннісну домінанту.

- Високий рівень наслідків: системи, що надають рекомендації або пропозиції, повинні допускати можливість їх скасування людиною.

- Середній рівень наслідків: балансування між автоматизацією та людським судженням.

- Низький рівень наслідків: повністю автоматизовані системи без участі людини.

б) Захист приватності та згода:

– Дуже високий рівень наслідків: надійні гарантії приватності, інформована згода та контроль користувача.

– Високий рівень наслідків: деталізовані (гранульовані) варіанти згоди на обмін даними.

– Середній рівень наслідків: політика приватності та механізми відмови (opt-out).

– Низький рівень наслідків: мінімальний захист приватності.

Як зазначено в ОЕСР [40], оцінювання наслідків кожного компонента може змінюватися залежно від суб'єктів взаємодії – осіб та груп, що взаємодіють із застосунком «розумного міста», – а також від контексту: економічних умов, технологічної зрілості, критичного характеру застосунку, умов розгортання та масштабів цих ефектів.

На основі наукових досліджень, технічної літератури та визначеної шкали чутливості сформовано матрицю етичних наслідків функціонування застосунків «розумного міста» із чотирирівневою шкалою оцінювання (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Матриця етичних наслідків застосунків розумного міста [34]

Сфера застосування / Етичний принцип	Людський чинник та нагляд	Технічна надійність та безпека	Конфіденційність та управління даними	Прозорість	Різноманітність, недискримінація та справедливість	Соціальне та екологічне благополуччя	Підвітність
1	2	3	4	5	6	7	8
Урядування та цифровізація освіти	Високий	Високий	Дуже високий	Високий	Дуже високий	Високий	Високий
Розумне сільське господарство	Середній	Високий	Низький	Низький	Низький	Низький	Середній
Розумна енергетика	Низький	Високий	Високий	Високий	Високий	Дуже високий	Високий

Продовження таблиці 3.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
Розумна безпека	Високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий
Розумне міське планування та енергомережі	Дуже високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий
Розумне управління відходами	Високий	Середній	Середній	Середній	Середній	Високий	Середній
Розумне водопостачання	Дуже високий	Високий	Високий	Високий	Високий	Дуже високий	Високий
Розумний транспорт	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий	Високий	Дуже високий	Дуже високий	Високий

Таким чином, матриця етичних наслідків слугує аналітичним інструментом для оцінки ризиків на етапі проектування застосунків розумного міста. Вона дозволяє пріоритизувати заходи із забезпечення відповідності етичним стандартам і виявляти сфери, де ризики перетинаються одразу за кількома принципами, – а отже, вимагають особливої уваги з боку розробників і регуляторів.

3.4 Перспективні тенденції ШІ для розумних міст

Сучасні міста є центрами концентрації значних обсягів різноманітних даних – як гомогенних, так і гетерогенних, – що генеруються повсякденною діяльністю. Ці дані надходять від сенсорів, камер, телеметрії комунальних мереж, RFID-міток тощо. Завдяки передовим обчислювальним технологіям зазначені дані обробляються майже в режимі реального часу – у хмарному середовищі або на периферійних пристроях, – що покращує функціонування міських служб, зокрема транспортної інфраструктури та управління трафіком.

Технології на базі ШІ лише починають розкривати свій потенціал у сфері аналітичного опрацювання міських даних. Проаналізовано типи даних та технології їхнього аналізу у взаємозв'язку з методами функціонування «розумного міста». Здійснено аналіз патернів використання технологій ШІ з

метою виявлення прогалин у дослідженнях, бізнес-потенціалу, локальної специфіки та методів збереження конфіденційності. Ключовим аспектом є можливість адаптації сучасних технологій для розв'язання типових проблем, спільних для більшості міст.

У процесі дослідження публікації було проаналізовано та відфільтровано за шістьма аспектами:

1. Сфера використання / Місія / Мета.
2. Технологічний домен.
3. Використана технологія ШІ.
4. Технологічна зрілість.
5. Перспектива прийняття рішень.
6. Сфера застосування.

Цілісне розуміння та успішна інтеграція всіх зазначених аспектів є доцільною умовою для ефективного впровадження технологій ШІ органами міського управління. З метою спрощення оцінювання значної кількості параметрів у дослідженні акцентується увага на формуванні ефективних інструментів фільтрації моделей та публікацій за визначеними критеріями, що слугуватиме практичним підґрунтям для подальшого аналітичного опрацювання даних «розумних міст» із використанням штучного інтелекту.

3.5 Виклики та перспективи подальших досліджень

Попри високі очікування, на шляху розвитку «розумних міст» залишається низка суттєвих бар'єрів. «Розумні міста» за своєю суттю залежать від належного використання даних, що зумовлює критичну важливість роздільної здатності міських даних. Для вхідних параметрів доцільно використовувати не лише історичні дані, а й дані в режимі реального часу – дані детектування та зворотного зв'язку. Щодо результатів, прогностичні дані є важливими для подолання обмежень традиційних методів аналізу, які не враховують майбутні сценарії.

Окремі очікування щодо функціонування «розумних міст» є важкореалізованими на практиці. Зокрема, збір сенсорних даних залежить від кількості мобільних датчиків та розпорядників даних, однак обсяг даних сам по собі не гарантує їхньої якості або інформативності. Аналіз великих масивів міських даних може бути трудомістким і вимагати значних обчислювальних ресурсів. Процес прийняття рішень, що враховує надмірну кількість сценаріїв, може виявитися неефективним, тому зосередження на кількох конкретних темах, моделях або регіонах є раціональнішим підходом [68].

Соціальна природа міст створює додаткові виклики для аналітичного опрацювання даних. Упродовж тривалого часу міські дані зберігалися ізольовано за «силосною» моделлю: кожна організація керує власними даними відповідно до власних правил конфіденційності. Обмін даними є обмеженим за швидкістю, повнотою, деталізацією та зручністю використання. Дані, зібрані однією організацією на певному рівні дискретності, часто непридатні для іншої організації, що потребує іншої частоти оновлення. Організаційний бар'єр зберігається попри очікування щодо прозорості, що зумовлює необхідність формування відповідних політик та норм для забезпечення ефективного обміну даними.

Міські дані є масштабними та динамічними, і в них нерідко трапляються аномалії, пропуски або дублювання. Очищення та попередня обробка є критично важливими операціями, що потребують автоматизації. Програмні та апаратні бар'єри також становлять проблему: попередні зусилля з моніторингу та контролю складних міських систем були фрагментованими й залежали від специфічних інструментів, що призвело до слабкої інтероперабельності. Для розв'язання цієї проблеми доцільно розробити уніфіковану структуру інтеграції існуючих інструментів через відкриті API.

Значна кількість етичних принципів та відповідних регуляторних баз розглядає поняття відповідального використання й розробки ШІ, проте існує суттєва регіональна та юрисдикційна варіативність. Ці підходи розроблялися з огляду на макрорівневі горизонтальні політики та стратегії, залишаючи мезоконтекст міста та мікрорівень конкретних ШІ-проектів недостатньо

дослідженими. З огляду на те, що у функціонуванні «розумного міста» бере участь безліч зацікавлених сторін, а роль державно-приватного партнерства (ДПП) зростає, доцільно:

- підкреслити потребу врахування етики та етичних принципів при використанні ШІ в «розумних містах»;
- забезпечити відповідних стейкхолдерів інструментами для оцінювання ШІ-проектів через призму етичних принципів.

Розроблена описова модель дозволяє технічним експертам, політикам і громадськості обговорювати етичні міркування, використовуючи спільну мову та визначені критерії, а також може бути адаптована для врахування специфічних етичних проблем кожного проекту. Візуальна модель є корисним комунікаційним інструментом для стейкхолдерів із різним досвідом, однак важливо враховувати її обмеження, зумовлені якісним характером оцінок за чотирирівневою шкалою.

У перспективі доцільно визначити для кожного етичного принципу компоненти, що його характеризують, а також методи оцінювання окремих застосунків «розумних міст» і використаних моделей ШІ за визначеною шкалою. Крім того, важливим завданням є впровадження функції ефектів для кожного рівня ієрархічної моделі.

Існуючі виклики в методах обробки та оптимізації міських даних охоплюють переносність (*transferability*) між доменами, варіативні фактори в задачах оптимізації, якість даних, злиття гетерогенних даних та обробку великих масивів даних. Ці виклики потребують подальшого дослідження для підвищення інтелектуальності «розумних міст» [7].

Застосування різноманітних методів і технологій у «розумних містах» зумовлює потребу в оцінюванні, впровадженні та розробці алгоритмів для збору, попередньої обробки, аналізу, візуалізації, прогнозування та автоматизації даних у всіх міських доменах. Значний обсяг даних, що генерується в «розумному місті», підвищує його операційну ефективність, знижує витрати, покращує якість життя громадян і мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище. Для

реалізації цієї мети доцільно розвивати системи та інструменти збору, моніторингу, аналізу та оптимізації даних «розумного міста».

Таким чином, колосальний обсяг і різноманітність даних із доменів «розумного міста» можуть бути ефективно опрацьовані алгоритмами та системами на основі ШІ, що робить місто більш інтелектуальним. Методи та технології обробки й прогнозування міських даних систематизовано за чотирма категоріями: обробка та аналіз даних на перехрестях; обмін і злиття даних; прогнозування даних мобільності; методи моніторингу та оптимізації міських даних. Для кожної категорії надано огляд сучасних методів і систем, а також визначено відповідні набори даних для подальшого аналітичного опрацювання.

3.6 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» розроблено класифікацію методів і технологій інтелектуального оброблення й прогнозування міських даних за чотирма категоріями. Спроектовано комплексний підхід до інтеграції інструментів збору, моніторингу та оптимізації гетерогенної інформації в усіх міських доменах. Шляхом тестування прикладних рішень підтверджено, що впровадження алгоритмів ШІ підвищує операційну ефективність та знижує витрати міських систем.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпечні умови праці при монтажі комп'ютерної мережі.

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена дослідженню аналітичного опрацювання даних «розумних міст» з використанням ШІ, тому доцільно розглядати питання безпечних умов праці при монтажі комп'ютерної мережі, що є метою забезпечення безпеки працівників, ефективності виконання робіт та збереження технічних ресурсів. Розгортання розгалуженої мережевої інфраструктури є необхідною передумовою для збору та передачі даних, які в подальшому функціонують за допомогою ШІ в межах системи «розумного міста».

Монтаж комп'ютерної мережі забезпечує виконання робіт, що супроводжуються фізичними навантаженнями, електричними ризиками та наявними небезпеками, пов'язаними з роботою на висоті. Роботи на висоті – це роботи, при виконанні яких працівники перебувають на відстані менше 2 м від межі неогороджених зовнішніх або неперекритих внутрішніх перепадів по вертикалі 1,3 м і більше від робочої поверхні (підстави, перекриття, робочого настилу), а також роботи на похилій робочій поверхні незалежно від відстані від межі перепадів по вертикалі та наявності огороження. Для встановлення єдиного порядку організації і виконання таких робіт розроблено Правила охорони праці при роботі на висоті, затверджені наказом Держгірпромнагляду від 27.03.2007 № 62.

Перед початком монтажних робіт проводиться інструктаж із техніки безпеки, що включає ознайомлення працівників з оціночними ризиками та методами їх уникнення. Забезпечується наявність відповідної документації, яка регламентує безпечне виконання робіт, а також перевіряється кваліфікація працівників, залучених до монтажу. Проведення остаточних медичних оглядів дозволяє отримати захворювання, пов'язані з умовами праці. Робоче місце організовується відповідно до ергономічних вимог із застосуванням мінімізації

фізичного навантаження на персонал, а працівники забезпечуються всіма необхідними засобами індивідуального захисту.

Особливої уваги потребує електробезпека, після роботи з електрообладнанням несе значні ризики, передусім ризик уражень електричним струмом. Виконання робіт з кабельними системами та мережевим обладнанням, що переходить під напругу, вимагає суворого дотримання правил поведінки з електрообладнанням. До початку робіт мережу необхідно знеструмити, дотримуючись правил заземлення. Обов'язковим є використання інструментів з ізольованими ручками та захисних рукавичок. З метою мінімізації ризику короткого замикання або пошкодження обладнання під час підключення перевіряється правильність електричних з'єднань та якість ізоляції кабелів. Коротке замикання або перевантаження електромережі здатні спричинити пожежу, тому на робочому місці забезпечується наявність первинних засобів пожежогасіння та не допускається накопичення горючих матеріалів.

Під час монтажу існує ризик отримання різних травм: падіння з висоти, удари об гострі предмети тощо. Встановлення мережевого обладнання в місцях з обмеженим доступом або на висоті здійснюється із застосуванням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема страхувальних систем, захисних окулярів, рукавичок, шоломів та міцного взуття з нековзною підошвою. Робоче місце обладнано стійкими драбинами, платформами або підйомними механізмами, що відповідають чинним стандартам безпеки. Виконання робіт на висоті в умовах недостатньої освіченості або несприятливих погодних умов суворо забороняється.

При роботі з хімічними речовинами (клеями, розчинниками) використовується захисний одяг, рукавички та окуляри, а також забезпечується належна вентиляція робочого приміщення. Для захисту органів слуху від тривалого впливу виробничого шуму застосовуються інструменти з низьким рівнем шуму та індивідуальні засоби захисту. З метою мінімізації впливу електромагнітного випромінювання, що генерує окремі види мережевого обладнання, зводиться до мінімального часу перебування персоналу в зоні його дії, а також використовують захисні екрани.

Організація робочої зони забезпечує наявність сторонніх осіб під час монтажних робіт, раціональне розташування інструментів, кабелів та обладнання, що забезпечує зручність і безпеку виконання робіт. Проходи не захаращуються, кабелі проходять таким чином, щоб не створити перешкоди для переміщення працівників. Робоча зона повинна бути належно освітлена, а повітря в приміщенні – достатньо провітрюваним, особливо під час виконання робіт у закритих приміщеннях.

Для зменшення фізичного навантаження на персонал необхідно дотримуватись правила підйому та переміщення важких предметів; за потреби використовувати допоміжні механізми – візки або підйомники. Враховуються також ризики, пов'язані з впливом зовнішніх факторів: підвищеної вологості, перепадів температури, запиленості тощо. Для захисту обладнання від несприятливих умов застосовуються спеціальні герметичні корпуси, працівники забезпечуються відповідним одягом, засобами індивідуального захисту (масками, респіраторами, окулярами), спецвзуттям та рукавицями.

Дотримання викладених вимог дозволяє створити безпечні умови роботи під час розгортання комп'ютерної мережевої інфраструктури, що є фундаментальною передумовою для надійного функціонування системи аналітичного опрацювання даних «розумних міст» на основі ШІ. Зазначені заходи сприяють не лише захисту здоров'я та життя працівників, а й збереженню надійності встановленого обладнання – ключового елемента для успішної реалізації інтелектуальної системи «розумного міста» зі збору та обробки даних.

4.2 Застереження нещасних випадків та управління ризиками

Розвиток «розумних міст» супроводжується широким впровадженням інтелектуальних систем збору та аналітичного опрацювання даних, що вимагає залучення технічного персоналу для монтажу, налаштування та обслуговування відповідної інфраструктури. Експлуатація такої інфраструктури пов'язана з певними ризиками для здоров'я та безпеки як персоналу, що обслуговує системи, так і громадян. Тому розроблений комплекс заходів з охорони праці,

спрямованих на запобігання нещасним випадкам та ефективного управління ризиками, є невід'ємною складовою реалізації проектів у сфері «розумних міст».

Застереження нещасних випадків є одним із ключових аспектів охорони праці, особливо у сфері розробки, впровадження та використання системи аналітичного опрацювання даних «розумних міст». Першочергового значення набуває оцінювання ризиків, що передбачає:

- проведення детального аналізу всіх можливих ризиків, пов'язаних з експлуатацією мережевої інфраструктури та обладнання, включаючи ризики пошкодження електричним струмом, пожежі, фізичних травм під час монтажу та обслуговування, а також психологічних навантажень на операторів;

- визначення рівня ймовірності та деяких наслідків кожного виявленого ризику.

Не менше є розроблення інструкцій з охорони праці, що забезпечує створення чітких і зрозумілих інструкцій для персоналу, залученого до всього з інфраструктурою «розумного міста»; ознайомлення персоналу з інструкціями під розпис; регулярне оновлення інструкцій з урахуванням змін у технологіях та чинному законодавстві.

Забезпечення безпечних умов праці шляхом зменшення виникнення нещасних випадків під час розгортання та використання системи збору та обробки даних «розумних міст». Безпечні умови праці включають створення належних умов на робочих місцях операторів, зокрема ергономічне обладнання, достатнє освітлення, вентиляцію та акустичний комфорт. Регулярний технічний нагляд за обладнанням та персоналом індивідуального забезпечення захисту (каска, рукавички, окуляри тощо) суттєво знижує ризик травматизму. Монтаж обладнання забезпечує роботу з електричними приладами, які можуть стати загрозою у разі неправильного підключення чи обслуговування. Для мінімізації таких ризиків підтримуються правила електробезпеки, використання заземлення та використання обладнання із захисними автоматами від короткого замикання. Під час встановлення обладнання на висоті можливі травми внаслідок падіння, що неможливе застосування засобів індивідуального захисту – страхувальних поясів та спеціальна платформа для роботи на висоті.

У сучасних умовах важливого значення відбувається регулярне проведення навчальних та тренінгів з питань охорони праці та пожежної безпеки для всього персоналу. Особливу увагу приділяється навчанню з надання першої долікарської допомоги та діям у надзвичайних ситуаціях.

З метою зниження ризиків виникнення нещасних випадків під час розгортання та функціонування інфраструктури «розумних міст» впроваджуються системи реєстрації та аналізу інцидентів, пов'язаних з охороною праці. Проводиться розслідування інцидентів з призначення причин виникнення надзвичайних ситуацій та розроблення заходів щодо їх усунення.

Управління ризиками забезпечує системний підхід до:

- ідентифікації та оцінювання наявних ризиків, пов'язаних з використанням експлуатаційної інфраструктури збору та аналітичного опрацювання даних, із застосуванням методів аналізу ризиків (зокрема FMEA, HAZOP);

- контроль та зниження негативних загроз шляхом розробки та впровадження заходів, спрямованих на зниження рівня ризиків до прийнятого;

- регулярного моніторингу ефективності заходів контролю ризиків та переоцінки їх рівня з урахуванням змін у технологіях, законодавстві та організаційних процесах.

У межах розробки та впровадження системи аналітичного опрацювання даних «розумних міст» управління ризиками включає аналіз прогнозів небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією обладнання, програмного забезпечення, а також зовнішніх впливів, таких як погодні умови чи людський фактор. На основі цього виконується кількісний і якісний аналіз наслідків ризиків для здоров'я працівників та безпеки мешканців міста.

Формування культури безпеки серед працівників є елементом управління ризиками. Персонал має усвідомлювати важливість дотримання правил охорони праці, а впровадження міжнародних стандартів (зокрема ISO 45001) підвищення загального рівня безпеки робочих процесів.

Застосування методів ШІ для аналітичного опрацювання великих масивів даних відкриває нові можливості для підвищення рівня безпеки в «розумних

містах». Алгоритми машинного навчання здатні опрацювати потоки даних у реальному часі та виявляти небезпечні ситуації, зокрема: падіння людини, виникнення пожежі або утворення несанкціонованого скупчення людей; проводити моніторинг стану критичної інфраструктури – доріг, мостів та інших інженерних споруд; сприяти розробленню ефективної схеми руху транспорту, що знижує ризик дорожньо-транспортних пригод та оптимізує транспортні потоки в цілому.

Врахування аспектів застереження нещасних випадків та управління ризиками є невід'ємною складовою забезпечення безпеки й ефективності функціонування інтелектуальної інфраструктури «розумних міст». Це дозволяє не лише мінімізувати загрози для працівників і систем користувачів, а й гарантувати стабільну та надійну роботу системи аналітичного опрацювання даних на базі ШІ.

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час

Дослідження методів аналітичного опрацювання даних «розумних міст» з використанням ШІ потребує розгляду питання підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час, що є максимальним аспектом забезпечення їхньої функціональності в умовах підвищених загроз і нестабільності.

Підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час впровадження комплексного підходу, який охоплює технічні, організаційні та управлінські заходи. Із ключовими завданнями є забезпечення безперервної роботи критичної інфраструктури, зокрема системи збору та аналітичного опрацювання даних, які в «розумних містах» одним з них забезпечують роль важливого інструменту для моніторингу та координації дій під час надзвичайних ситуацій. Для цього необхідно забезпечити захист об'єктів від деяких загроз, зокрема:

- фізичних пошкоджень внаслідок бойових дій;

- кібератак;
- перебоїв в електропостачанні.

Захист об'єктів від фізичних пошкоджень включає створення інженерних споруд, здатних протистояти вибухам та обстрілам. Такі споруди можуть включати укриття для обладнання, а також розміщення систем критичних компонентів у захищених підземних приміщеннях. Дублювання обладнання та розподіл його між кількома географічно віддаленими об'єктами є ймовірністю збереження працездатності навіть у разі виділення окремих елементів. Важливо також передбачити використання резервних джерел живлення (генераторів, акумуляторних батарей тощо) для забезпечення автономної роботи системи у разі відключення централізованого електропостачання.

Організаційні заходи включають розроблення планів дій у надзвичайних ситуаціях, які передбачають чіткі інструкції для персоналу щодо поведінки в умовах загрози. Проведення навчання і тренувань дозволяє працівникам підготуватися до реагування у кризових ситуаціях – евакуації, переміщення обладнання або відновлення роботи системи після пошкодження. Важливим є також формування команд швидкого реагування, відповідних для технічної підтримки та оперативного відновлення функціонування об'єктів.

Управлінські заходи спрямовані на ефективну координацію ресурсів і прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій. З цим призначено створити централізовану систему управління, що використовує методи інтелектуального аналізу даних для оцінки ситуації в реальному часі та прогнозування можливих сценаріїв розвитку подій. У системах «розумного міста» інфраструктура збору та опрацювання даних може бути інтегрована з іншими елементами міського середовища – транспортними чи комунальними службами – для підвищення ефективності управління в кризових умовах.

Загалом підвищення стійкості об'єктів господарської діяльності у воєнний час вимагає комплексного підходу, що поєднує технічні інновації, ретельне планування та належну підготовку персоналу. Це забезпечує збереження функціональності системи аналітичного опрацювання даних, які в «розумних

містах» перетворюють ключову роль у підтримання громадської безпеки та ефективності управління в умовах надзвичайних ситуацій.

4.4 Планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій

Питання охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуацій є невід'ємною складовою комплексного підходу до створення та впровадження систем аналітичного опрацювання даних «розумного міста» з використанням ШІ. Цивільний захист об'єктів та обчислювальної інфраструктури, залучених до реалізації таких технологій, спрямований на забезпечення безперебійного функціонування систем, захист інженерного персоналу та мінімізації ризиків для життєдіяльності міського населення.

Основною метою планування заходів цивільного захисту є підготовка об'єкта до ефективного реагування на надзвичайні ситуації (НС) різного характеру. Це стосується як природних катаклізмів (землетрусів, повеней), так і техногенних аварій (пожеж, руйнувань кабельних мереж, аварій на лініях електропередач) та соціально-політичних ризиків. Особливістю інформаційно-технологічних платформ «розумного міста», що функціонують на базі ШІ, є їхній критичний вплив на забезпечення безпеки життєдіяльності та управління міською інфраструктурою. Це зумовлює підвищені вимоги до захисту, живучості та швидкого відновлення працездатності апаратних комплексів аналітичної обробки інформації у надзвичайних умовах.

На першому етапі планування заходів цивільного захисту проводиться детальний аналіз потенційних загроз, пов'язаних із безпекою збереження даних, стійкістю обладнання, а також безпосередніми ризиками для персоналу, який обслуговує серверні кімнати та мережеві вузли. Оцінка загроз дає змогу визначити ймовірні сценарії розвитку надзвичайних ситуацій, змоделювати можливі критичні точки відмови технічних засобів та розробить чіткі алгоритми дій для операторів, системних адміністраторів й аварійно-рятувальних служб. На основі отриманих даних створюється план цивільного захисту об'єкта, який

охоплює систему автоматизованого оповіщення, організацію безпечної евакуації працівників, порядок дій під час різних типів НС та регламент взаємодії з місцевими органами цивільного захисту.

Особливу увагу приділяють матеріально-технічному забезпеченню об'єкта необхідними ресурсами, як-от:

- газовими та порошковими системами пожежогасіння, безпечними для серверного обладнання;
- засобами індивідуального захисту органів дихання та зору для персоналу, зокрема респіраторами та ізолювальними протигазами;
- медичними засобами першої допомоги та сертифікованими аптечками;
- автоматизованими системами резервного й безперебійного живлення (дизель-генераторами, акумуляторними масивами) для підтримання безперервної аналітичної обробки інформації під час аварійних вимкнень електропостачання;
- резервами питної води та засобів життєзабезпечення для підтримання автономності диспетчерських пунктів у разі тривалого блокування об'єкта.

Задля підвищення ефективності дій у надзвичайних ситуацій організуються регулярні тренування персоналу. Програма підготовки передбачає навчання правилам поведінки під час техногенних та природних аварій, відпрацювання схем швидкої евакуації, а також імітаційні вправи з моделювання сценаріїв раптового знеструмлення або фізичного пошкодження комутаційних вузлів міської мережі давачів. Окрім цього, проводяться спільні навчання з місцевими рятувальними службами, які забезпечують оперативне відпрацювання взаємодії в умовах реальної загрози інфраструктурі життєзабезпечення міста.

Необхідною складовою готовності є постійний моніторинг та актуалізація планів цивільного захисту. Зокрема, регулярні перевірки стану систем оповіщення, доступності засобів захисту та рівня підготовки інженерно-технічних працівників гарантують високий рівень готовності до НС. Оновлення планів здійснюється з урахуванням структурних змін в архітектурі

інформаційно-технологічної платформи, появи нових типів кібертехногенних загроз та впровадження новітніх технологічних модулів.

Реалізація зазначених заходів є критично важливою для сталого функціонування цифрового середовища, адже інформаційно-технологічні платформи відіграють ключову роль у моніторингу, прогнозуванні та запобіганні небезпечним подіям. Автоматизоване аналітичне опрацювання великих масивів даних за допомогою алгоритмів ШІ дозволяє своєчасно виявляти ознаки загрози, координувати дії аварійних служб та мінімізувати час реагування на інциденти. Таким чином, забезпечення належного рівня охорони праці, технічної стійкості систем та постійної готовності до надзвичайних ситуацій є обов'язку передумовою для успішного впровадження інноваційних технологій ШІ в архітектуру «розумного міста».

4.5 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» досліджено безпечні умови праці при монтажі комп'ютерної мережі. Розглянуто питання запобігання нещасним випадкам та управління ризиками. Обґрунтовано необхідність підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час, що є важливим аспектом забезпечення їхньої функціональності в умовах підвищених загроз і нестабільності. Подано планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі освітнього рівня «Магістр» на тему «Аналітичне опрацювання даних розумних міст з використанням штучного інтелекту» здійснено теоретичне узагальнення, наукове обґрунтування та розв'язання актуальної науково-практичної задачі, що полягає в розробці комплексного науково-методичного підходу до аналітичного опрацювання гетерогенних масивів даних «розумних міст» на основі інтеграції сучасних моделей і методів штучного інтелекту (ШІ).

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- Подано концепт «розумне місто» як цифровий простір, де управління, мобільність та сталий розвиток базуються на аналітичному опрацюванні даних.
- Розглянуто взаємозв'язок «розумних міст» та штучного інтелекту.
- Висвітлено стан досліджень в галузі аналітичного опрацювання даних «розумних міст», де поява ШІ формує новий імпульс для розвитку урбаністики.
- Проаналізовано базові інформаційно-технологічні платформи «розумних міст».
- Досліджено етичні принципи впровадження ШІ в «розумні міста», оскільки він вже виступає основою для значної частини міських застосунків.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано моделі штучного інтелекту та їх концептуальні засади функціонування.
- Проаналізовано вплив моделей штучного інтелекту на аналітичне опрацювання даних «розумних міст».
- Досліджено використання моделей ШІ для застосунків «розумних міст».
- Проведено прогностичну аналітику на основі ШІ у міському плануванні.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Розроблено класифікацію методів і технологій інтелектуального оброблення й прогнозування міських даних за чотирма категоріями.

– Спроектовано комплексний підхід до інтеграції інструментів збору, моніторингу та оптимізації гетерогенної інформації в усіх міських доменах.

– Шляхом тестування прикладних рішень підтверджено, що впровадження алгоритмів ШІ підвищує операційну ефективність та знижує витрати міських систем.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» досліджено безпечні умови праці при монтажі комп'ютерної мережі. Розглянуто питання запобігання нещасним випадкам та управління ризиками. Обґрунтовано необхідність підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності у воєнний час, що є важливим аспектом забезпечення їхньої функціональності в умовах підвищених загроз і нестабільності. Подано планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій.

Таким чином, отримані результати дослідження комплексно поєднують теоретичні засади урбаністики із сучасними інструментами ШІ для ефективного управління цифровим простором «розумного міста». Запропоновані моделі прогнозування та архітектурні підходи до інтеграції гетерогенних даних мають високу практичну цінність для оптимізації міської інфраструктури в реальних умовах. У підсумку, представлена кваліфікаційна робота демонструє, що синергія ШІ та аналітики великих даних є ключовим фактором забезпечення сталого розвитку та підвищення якості життя мешканців сучасних міст

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 R. U. Attah, B. M. P. Garba, and I. Gil-Ozoudeh, “Advanced financial modeling and innovative financial products for urban development: Strategies for economic growth,” *Int. J. Eng. Res.*, 2024.
- 2 Duda O., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V., Rzheuskyi 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.
- 3 Y. Himeur, M. Elnour, F. Fadli, N. Meskin, and I. Petri, “AI-big data analytics for building automation and management systems: A survey, actual challenges and future perspectives,” *Artif. Intell.*, vol. 2023, 2023.
- 4 M. A. Fadhel, A. M. Duhaim, A. Saihood, and A. Sewify, “Comprehensive systematic review of information fusion methods in smart cities and urban environments,” *Information*, vol. 2024, 2024.
- 5 Khlewee, I. K., Hamze, K., & Muya, T. (2025). AI in smart cities: a review of urban data processing, prediction, and optimization techniques. *ESTIDAMAA*, 2025, 29–38. <https://doi.org/10.56578/estidamaa010104>.
- 6 P. Bellini, P. Nesi, and G. Pantaleo, “IoT-enabled smart cities: A review of concepts, frameworks and key technologies,” *Appl. Sci.*, 2022.
- 7 F. Ghareh Mohammadi, F. Shenavarmasouleh, M. H. Amini, and H. R. Arabnia, “Data analytics for smart cities: Challenges and promises,” 2021.
- 8 A. Abdallah, S. Anadani, and H. Ismail, “Internet-Based 3D Volumes with Signed Distance Fields: Establishing a WebGL Rendering Infrastructure,” in *Proc. Int. Conf.*, 2024.
- 9 J. S. Gracias, G. S. Parnell, E. Specking, and E. A. Pohl, “Smart cities—A structured literature review,” *Smart Cities*, 2023.
- 10 S. L. Zubaidi, K. Hashim, S. Ethaib, and N. S. S. Al-Bdairi, “A novel methodology to predict monthly municipal water demand based on weather variables scenario,” *J. King Saud Univ.*, vol. 2022, 2022.

11 Bibri, S.E. (2019), “On the sustainability of smart and smarter cities in the era of big data: an interdisciplinary and transdisciplinary literature review”, *Journal of Big Data*, Vol. 6 No. 1, p. 25, doi: 10.1186/s40537-019-0182-7.

12 Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P. and Marvin, S. (2024), “The rise of AI urbanism in post-smart cities: a critical commentary on urban artificial intelligence”, *Urban Studies*, Vol. 61 No. 6, pp. 1168-1182, doi: 10.1177/00420980231203386.

13 Visvizi, A., Lytras, M. D., & Mudri, G. (Eds.). (2018). *Smart Cities and Smart Governance: Towards the New Frontiers*. Elsevier.

14 Riedmann-Streitz, C., Streitz, N., Antona, M., Marcus, A., Margetis, G., Ntoa, S., ... Rosenzweig, E. (2024), “How to create and foster sustainable smart cities? Insights on ethics, trust, privacy, transparency, incentives, and success”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, pp. 1-32, doi: 10.1080/10447318.2024.2325175.

15 Kummitha, R.K.R. and Crutzen, N. (2017), “How do we understand smart cities? An evolutionary perspective”, *Cities*, Vol. 67, pp. 43-52, doi: 10.1016/j.cities.2017.04.010.

16 Saviano, M. and Caputo, F. (2017), “Re-affirming the need for systems thinking in social sciences: a viable systems view of smart city”, 10th Annual Conference of the EuroMed Academy of Business, pp. 13-15.

17 Visvizi, A. and Troisi, O. (2022), “Effective management of the smart city: an outline of a conversation”, in Visvizi, A. and Troisi, O. (Eds), *Managing Smart Cities*, Springer, Cham, Switzerland.

18 Polese, F., Barile, S., Caputo, F., Carrubbo, L. and Waletzky, L. (2018), “Determinants for value cocreation and collaborative paths in complex service systems: a focus on (smart) cities”, *Service Science*, Vol. 10 No. 4, pp. 397-407

19 Samuel, A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210-229.

20 Yang, C., Huang, Q., Li, Z., Liu, K., & Hu, F. (2018). Big data analytics for smart cities: progress, challenges and opportunities. *International Journal of Digital Earth*, 11(4), 365-399.

21 Cugurullo, F. (2020), “Urban artificial intelligence: from automation to autonomy in the smart city”, *Frontiers in Sustainable Cities*, Vol. 2, p. 38.

22 OECD (2024), *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*, OECD/LEGAL/0449, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.

23 European Parliament (2024), “Resolution of 13 March 2024 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on laying down harmonized rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union Legislative Acts (COM (2021)0206 – C9-0146/2021 – 2021/0106(COD))”, European Parliament, Vol. P9_TA, p. 0138. 13-March-2024.

24 ITI (2023), “ITI, industry associations outline priorities for EU AI Act, Information Technology Industry Council (ITI), Brussels”, available at: www.itic.org/policy/2023.09.29AIActdraftjointindustrystatement_Final.pdf

25 Herath, H.M.K.K.M.B. and Mittal, M. (2022), “Adoption of artificial intelligence in smart cities: a comprehensive review”, *International Journal of Information Management Data Insights*, Vol. 2 No. 1, p. 100076

26 Luusua, A., Ylipulli, J., Foth, M., et al. (2023), “Urban AI: understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities”, *AI and Society*, Vol. 38 No. 3, pp. 1039-1044, doi: 10.1007/s00146-022- 01537-5.

27 HLEG (2019), “HLEG on artificial intelligence: ethics guidelines for trustworthy AI, European Commission B-1049 Brussels, document made public on 8 April 2019”.

28 S. E. Bibri, J. Huang, S. K. Jagatheesaperumal, and J. Krogstie, “The synergistic interplay of artificial intelligence and digital twin in environmentally planning sustainable smart cities: A comprehensive systematic review,” 2024.

29 M. E. E. Alahi, A. Sukkuea, F. W. Tina, and A. Nag, “Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: Recent advancements and future trends,” *Sensors*, 2023.

30 F. Z. Rozony and M. N. A. Aktar, “A systematic review of big data integration challenges and solutions for heterogeneous data sources,” *Acad. J.*, 2024.

31 S. Schmager and I. O. Pappas, “Understanding human-centred AI: A review of its defining elements and a research agenda,” *Behav. Inf. Technol.*, 2025.

32 Berntzen, L., Johannessen, M. and El-Gazzar, R. (2018), “Smart cities, big data and smart decision- making understanding ‘big data’ in smart city applications”.

33 Dani, A.A.H., Supangkat, S.H., Lubis, F.F., Nugraha, I.G.B.B., Kinanda, R. and Rizkia, I. (2023), “Development of a smart city platform based on digital twin technology for monitoring and supporting decision-making”, *Sustainability*, Vol. 15 No. 18, p. 14002, doi: 10.3390/ su151814002.

34 Bosco, G., Riccardi, V., Sciarrone, A., D'Amore, R. and Visvizi, A., 2025. AI-driven innovation in smart city governance: achieving human-centric and sustainable outcomes. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 20(1), pp. 98–123.

35 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.

36 Santana, E.F.Z., Chaves, A.P., Gerosa, M.A., Kon, F. and Milojevic, D.S. (2017), “Software platforms for smart cities: concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture”, *ACM Comput. Surv*, Vol. 50 No. 6, doi: 10.1145/3124391.

37 Duda O., Kunanets N., Martsenko S., Nykytyuk V., Pasichnyk V. Information technology platform for COVID-19 analysis // *IEEE CSIT 2021*. P. 231–238. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648839.

38 Allam, Z. and Dhunny, Z.A. (2019), “On big data, artificial intelligence and smart cities”, *Cities*, Vol. 89, pp. 80-91.

39 Palka, O., Kunanets, N., Pasichnyk, W., Matsiuk, O. and Matsiuk, S. (2023), “Comparative analysis of smart city, 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems”, Volume III: Intelligent Systems Workshop, Platforms 487-499.

40 OECD (2022), “OECD framework for the classification of AI systems”, *OECD Digital Economy Papers February 2022 No. 323*.

41 Sanni, B., Oyetoro, A. and Klaus, H. (2024), “AI model explainability and interpretability: delve into the challenges of making AI models more interpretable in cloud environments, especially when deployed at scale”.

42 Ashwini, K. (2022). Data analytics and artificial intelligence models in smart city applications: A comprehensive review. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 8(3), 112–125.

43 Fedonuyk A., Yunchyk V., Mukutuyk I., Duda O., Yatsyuk S. Application of the hierarchy analysis method // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1840(1). DOI: 10.1088/1742-6596/1840/1/012065.

44 Н. В. Лісовий, А. Р. Ставицька, А. В. Гіжовський Хмарні інформаційно-технологічні платформи аналітичного опрацювання даних // XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 7-8 грудня 2022 року. – Т.: ТНТУ, 2022. – С. 168.- <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40603>.

45 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.

46 R. Sonani and V. Govindarajan, “Cloud integrated governance driven reinforcement framework for ethical and legal compliance in AI based regulatory enforcement,” *J. Sel. Top.*, 2025.

47 A. A. Adesina, T. V. Iyelolu, and P. O. Paul, “Leveraging predictive analytics for strategic decision-making: Enhancing business performance through data-driven insights,” *World J. Adv. Res.*, 2024.

48 M. Elassy, M. Al-Hattab, M. Takruri, and S. Badawi, “Intelligent transportation systems for sustainable smart cities,” *Transp. Eng.*, 2024.

49 H. Hao, Y. Wang, and J. Chen, “Empowering scenario planning with artificial intelligence: A perspective on building smart and resilient cities,” *Engineering*, 2024.

- 50 Duda O., Stanko A. Architecture of monitoring platform in smart cities // Вісник ХНУ. 2023. No. 4. P. 10–19. DOI: 10.31891/2307-5732.
- 51 S. Pal and S. K. Ghosh, “Rule based end-to-end learning framework for urban growth prediction,” 2017.
- 52 T. Orusa, A. Viani, and E. Borgogno-Mondino, “Earth observation data and geospatial deep learning AI to assign contributions to European municipalities Sen4MUN: An empirical application in Aosta Valley,” Land, 2024.
- 53 P. Wu, Z. Zhang, X. Peng, and R. Wang, “Deep learning solutions for smart city challenges in urban development,” Sci. Rep., 2024.
- 54 S. Felici-Castell, J. Segura-Garcia, J. J. Perez-Solano, R. Fayos-Jordan et al., “AI-IoT low-cost pollution-monitoring sensor network to assist citizens with respiratory problems,” 2023.
- 55 P. Linardatos, V. Papastefanopoulos et al., “CO2 concentration forecasting in smart cities using a hybrid ARIMA– TFT model on multivariate time series IoT data,” Sci. Rep., vol. 13, no. 1, 2023.
- 56 R. Pinki, S. Kumar, S. Vimal, and N. S. Alghamdi, “Artificial intelligence-enabled smart city management using multiobjective optimization strategies,” Expert Syst., vol. 2025, 2025.
- 57 A. Shah Syed, D. Sierra-Sosa, A. Kumar, and A. Elmaghraby, “Making cities smarter – Optimization problems for the IoT enabled smart city development: A mapping of applications, objectives, constraints,” 2022.
- 58 Duda O., Zakharia O., Kramar T., Melnyk A., Skaletskyi P. Data mesh smart city architecture // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2025. Vol. 17. P. 411–424. DOI: 10.23939/sisn2025.17.411.
- 59 A. Khatun and S. G. S. Hossain, “Open challenges and issues: Artificial intelligence for transactive management,” 2020.
- 60 P. Chamoso Santos and F. de la Prieta Pintado, “Smart cities simulation environment for intelligent algorithms evaluation,” 2015.
- 61 Скалецький П., Ставицька А., Дуда В. Інноваційні інформаційні технології «розумних» міст // VI Міжнародна студентська науково-технічна

конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. – Т. : ТНТУ, 2023. – С. 176. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41257>.

62 Jawhar, I., Mohamed, N. and Al-Jaroodi, J. (2018), “Networking architectures and protocols for smart city systems”, *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 9 No. 1, p. 26, doi: 10.1186/s13174-018-0097-0.

63 Hu, R. (2019), “The state of smart cities in China: the case of Shenzhen”, *Energies*, Vol. 12 No. 22, p. 4375, doi: 10.3390/en12224375.

64 Yigitcanlar, T., Desouza, K.C., Butler, L. and Roozkhosh, F. (2020), “Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: insights from a systematic review of the literature”, *Energies*, Vol. 13 No. 6, p. 1473.

65 Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. and Al-Jaroodi, J. (2015), “Applications of big data to smart cities”, *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 6 No. 1, pp. 1-15.

66 Clever, S., Crago, T., Polka, A., Al-Jaroodi, J. and Mohamed, N. (2018), “Ethical analyses of smart city applications”, *Urban Science*, Vol. 2 No. 4, p. 96, doi: 10.3390/urbansci2040096.

67 Ziosi, M., Hewitt, B., Juneja, P., et al. (2022), “Smart cities: reviewing the debate about their ethical implications”, *AI and Society*, doi: 10.1007/s00146-022-01558-0.

68 C. Lim, K. J. Kim, and P. P. Maglio, “Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations,” 2018.

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

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. Stavytska, 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 керованим 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 розсосереджені 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 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.

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. Делів, Л.Є. Делів	
ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ	148
25. С.Р. Пискальнич, Б.В. Сарняк, І.Ю. Делів	
ЗАДАЧА УЩІЛЬНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	149
26. М.П. Мотелюк, С.Т. Боїло, І.Ю. Делів, 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.V. 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. Делів	
МЕТОД ВІЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БПЛА З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	160
33. В.Л. Дунець, Н.І. Шилівський, О.Ю. Щирба, Д.О. Гуменюк, Т.В. Чирський	
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 МОВІЛЬНИХ 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

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

УДК 004.9

Скалецький П. – аспірант, Ставицька А., Дуда В. – ст. гр. СН-11
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ

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

Skaletskyi P., Stavytzka A., Duda V.
 Ternopil Ivan Puluj National Technical University

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES OF SMART CITIES

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.

«Розумні» міста формують на основі інноваційних інформаційних технологій, зокрема, давачів, інтегрованих до масштабованих обчислювальних системи та послуг. Ці системи з'єднані за допомогою численних різномісцевих міських мереж, що безперервно забезпечують процеси передавання даних щодо діяльності людей та фізичних об'єктів. Зокрема пристрої, будівлі та сутності, що використовуються при формуванні потоків рішень щодо фізичної, експлуатаційної та соціальної структури сучасних міст [1]. Водночас, інноваційні інформаційно-технологічні концепції «розумних» міст еволюціонують в напрямку Web 3.0 з формуванням децентралізованих семантичних мереж [2]. В перспективі «розумні» міста майбутнього будуть активно використовувати децентралізований Web 3.0 як базовий елемент інформаційних систем. Прообраз «розумного» міста потребує використання та інтеграції обширної множини інноваційних інформаційних технологій, зокрема:

- Web 3.0.
- Блокчейн.
- Штучний інтелект (англ. Artificial Intelligence, AI).
- Хмарні обчислення (англ. Cloud computing, CC).
- Периферійні (туманні) обчислення (англ. Fog Computing, FC) тощо.

Вони покликані для передавання інформації, оптимізації ефективності міських операцій, покращення якості послуг, що надаються громадянам [3]. Ключові цілі інформаційних потоків у «розумних» містах охоплюють обширну множину видів діяльності, наприклад: управління дорожнім рухом та транспортними системами; управління електростанціями; управління комунальними послугами; управління мережами постачання ресурсів та послуг; збирання, сортування та утилізація відходів; забезпечення безпеки громадян та інформаційних систем; функціонування шкіл, бібліотек, лікарень та різноманітних громадських служб.

Література

- [1] Dey, Somdip, et al. SmartNoshWaste: Using blockchain, machine learning, cloud computing and QR code to reduce food waste in decentralized web 3.0 enabled smart cities. *Smart Cities 5.1*. 2022; pp. 162-176.
- [2] Alabdulwahhab, F.A. Web 3.0: The decentralized web blockchain networks and protocol innovation. In *Proceedings of the 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyadh, Saudi Arabia, 4–6 April 2018; pp. 1–4.
- [3] Peris-Ortiz, M.; Bennett, D.R.; Yábar, D.P.B. *Sustainable Smart Cities*. In *Innovation, Technology, and Knowledge Management*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017.

Скалецький П., Ставицька А., Дуда В. ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ	176
Стебельський М., Букатка С. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ КРИПТОГРАФІЧНІ ПОЛІТИКИ ОС LINUX. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ	177
Стефанюк О. АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ	179
Тененський М., Галюк М. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ VRM ЗАСТОСУНКІВ	181
Тимошук В., Стебельський М. ШИФРУВАННЯ ДАНИХ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	183
Федорович І. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ ПОТОКІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ	185
Федорович І. ПРОЦЕС ОНОВЛЕННЯ СЛОВНИКА УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ ДЛЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗАТОРА RUMORPHU2	187
Хараджян М. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СТВОРЕННІ ДИСТАНЦІЙНИХ ПІДРИВНИКІВ	189
Хома С.-З. СМАРТ-КОНТРАКТИ НА ОСНОВІ RUST ДЛЯ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ	191
Хом'як А. КЛАСИФІКАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ІНТЕРФЕЙСІВ МОЗОК-КОМП'ЮТЕР	193
Шаповалов В. РОЗРОБКА WEB СЕРВЕРІВ В СЕРЕДОВИЩІ ОС LINUX	195
Шинькіна В. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЧАТ-БОТІВ	197
Юзьків О. ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ (PON) В УМОВАХ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	199
Дерев'янка В. ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПЕРШОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ РІННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ	200
Мимрик У. МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ	202
Островський О. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ПРЯМОКУТНОГО БРУСА	204