

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

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження підходів на основі даних для цифрових інновацій
"розумних міст"

Виконав: студент IV курсу, групи СНЗ-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кілівник Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Мацюк Г.Р.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

« » червня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Кілівник Юлії Ігорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження підходів на основі даних для цифрових інновацій «розумних міст»

Керівник роботи Мацюк Галина Ростиславівна, к.н.с.к., доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» травня 2026 року № 4/7-238

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо цифрових інновацій, «розумних міст», керування застосунками на основі даних.

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

Вступ. 1 Теоретико-методологічні засади дата-центричних інновацій у розвитку «розумних міст». 2 Дата-центричні стратегії та архітектура цифрових інновацій у «розумних містах».

3 Дата-центричні інновації та управління даними в розвитку «розумних міст». 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел.

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

1 Титульна сторінка. 2 Тема та мета дослідження. 3 Завдання дослідження. 4 Актуальність дослідження. 5 Ключові аспекти розвитку «розумних міст». 6 Комплексна архітектура платформи даних. 7 Приклади даних «розумного довкілля». 8 Концептуальна структура «розумного міста» на основі даних. 9 Класифікація концептуальних елементів «розумного міста» на основі даних. 10 Структура впровадження процесу управління даними «розумного міста». 11 Джерела даних та показники використання в функціонуванні «розумного міста». 12 Висновки. 13 Завершальний слайд.

АНОТАЦІЯ

Дослідження підходів на основі даних для цифрових інновацій «розумних міст»
// Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Кілівник Юлія Ігорівна
// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра
комп'ютерних наук, група СНз-41 // Тернопіль, 2026 // С. 68, рис. – 5, табл. – 5,
кресл. – 13, додат. – 0, бібліогр. – 52.

Ключові слова: міські інновації, міські послуги, платформи обробки даних, розумне місто, сенсори, стратегія обробки даних, цифровізація.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню підходів на основі даних для цифрових інновацій «розумних міст». В першому розділі кваліфікаційної роботи подано концептуальні засади цифровізації муніципального середовища. Розглянута людиноцентрична парадигма цифровізації в концепті «розумне місто». Висвітлено методологічні засади дата-центричного «розумного» урядування. Проаналізована трансформація підходів до використання даних у «розумних містах».

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено готовність «розумних міст» до стратегії обробки даних. Проаналізовано використання даних у «розумних містах». Проаналізовано джерела та методи збору даних «розумних міст». Сформована концептуальна структура «розумного міста» на основі даних.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи подана аналітична оцінка джерел даних та їх інтеграція в інноваційні рішення «розумних міст». Досліджена інтеграція краудсорсингових даних у цифрові платформи «розумних міст». Розглянуто муніципальний менеджмент та дата-центричні платформи у стратегічному розвитку «розумних міст». Висвітлено методологічні стандарти управління даними та їх імплементація в інноваціях «розумних міст». Описана фазована імплементація дата-стратегій «розумних міст».

ANNOTATION

Research on Data-Driven Approaches for Digital Innovation in Smart Cities // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Yuliia Kilivnyk // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SNz-41 // Ternopil, 2026 // P. 68, fig. – 5, tabl. – 5, chair. – 13, annexes. – 0, references – 52.

Keywords: urban innovation, urban services, data processing platforms, smart city, sensors, data processing strategy, digitalization.

The qualification work is devoted to the study of data-driven approaches for digital innovations in “smart cities.” The first chapter of the qualification work presents the conceptual foundations of municipal environment digitalization. The human-centered paradigm of digitalization within the “smart city” concept is examined. The methodological foundations of data-centric “smart” governance are highlighted. The transformation of approaches to data usage in “smart cities” is analyzed.

The second chapter of the qualification work investigates the readiness of “smart cities” for data processing strategies. The use of data in “smart cities” is analyzed. The sources and methods of data collection in “smart cities” are examined. A conceptual structure of a data-driven “smart city” is developed.

The third chapter of the qualification work presents an analytical assessment of data sources and their integration into innovative solutions of “smart cities.” The integration of crowdsourced data into digital platforms of “smart cities” is studied. Municipal management and data-centric platforms in the strategic development of “smart cities” are considered. Methodological standards of data management and their implementation in smart city innovations are highlighted. The phased implementation of data strategies in “smart cities” is described.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БПЛА – безпілотний літальний апарат.

ІКТ – інформаційні та комунікаційні технології.

ШІ – штучний інтелект.

ССТV (англ. Closed-Circuit Television) – система відеоспостереження замкнутого контуру.

CDPs (англ. City Data Platforms) – спеціалізовані міські платформи даних.

DAMA (англ. Data Management Association) – міжнародна асоціація з управління даними.

ERP (англ. Enterprise Resource Planning) – система планування ресурсів підприємства.

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

ІТS (англ. Intelligent Transportation Systems) – інтелектуальні транспортні системи.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання.

QoL (англ. Quality of Life) – якість життя.

ЗМІСТ

ВСТУП		8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ		
ДАТА-ЦЕНТРИЧНИХ ІННОВАЦІЙ У РОЗВИТКУ «РОЗУМНИХ		
МІСТ».....		10
1.1 Концептуальні засади цифровізації муніципального середовища.....		10
1.2 Людиноцентрична парадигма цифровізації в концепті «розумне		
місто»		12
1.3 Методологічні засади дата-центричного «розумного» урядування ..		13
1.4 Трансформація підходів до використання даних у «розумних		
містах».....		14
1.5 Висновок до першого розділу		18
РОЗДІЛ 2. ДАТА-ЦЕНТРИЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА АРХІТЕКТУРА		
ЦИФРОВИХ ІННОВАЦІЙ У «РОЗУМНИХ МІСТАХ»		19
2.1 Готовність «розумних міст» до стратегії обробки даних.....		19
2.2 Використання даних у «розумних містах»		23
2.3 Джерела та методи збору даних «розумних міст»		28
2.4 Концептуальна структура «розумного міста» на основі даних.....		29
2.5 Висновок до другого розділу		34
РОЗДІЛ 3. ДАТА-ЦЕНТРИЧНІ ІННОВАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ		
В РОЗВИТКУ «РОЗУМНИХ МІСТ».....		35
3.1 Аналітична оцінка джерел даних та їх інтеграція в інноваційні		
рішення «розумних міст».....		35
3.2 Інтеграція краудсорсингових даних у цифрові платформи		
«розумних міст».....		40
3.3 Муніципальний менеджмент та дата-центричні платформи у		
стратегічному розвитку «розумних міст»		43
3.4 Методологічні стандарти управління даними та їх імплементація в		
інноваціях «розумних міст».....		46

3.5 Фазована імплементація дата-стратегій «розумних міст»	50
3.6 Висновок до третього розділу	53
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
4.1 Психофізіологічні чинники безпеки операторської діяльності в інфраструктурних проєктах цифрових інновацій	54
4.2 Вплив психоемоційного навантаження на розробників програмно- алгоритмічних засобів цифрових інновацій та методи його мінімізації	56
4.3 Висновок до четвертого розділу	60
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена зростанням ролі підходів на основі даних у розвитку «розумних міст», де ефективне використання інформаційних ресурсів стає важливою передумовою підвищення якості муніципального управління та впровадження цифрових інновацій. У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливого значення набувають процеси збору, інтеграції та аналізу даних, що забезпечують можливість своєчасного реагування на виклики міського розвитку, оптимізації використання ресурсів і вдосконалення процесів надання публічних послуг. Водночас зростає потреба у формуванні цілісних підходів до управління даними, які б сприяли підвищенню ефективності функціонування міських систем та покращенню якості життя населення.

Важливим напрямом розвитку «розумних міст» є використання даних, отриманих із різних джерел, зокрема систем моніторингу довкілля, цифрових платформ врядування та інструментів взаємодії з громадянами. Аналіз сучасних практик свідчить, що підходи на основі даних сприяють підвищенню обґрунтованості управлінських рішень, розвитку громадської участі та забезпеченню сталого розвитку міського середовища. У зв'язку з цим дослідження теоретичних засад, інструментів і механізмів використання даних для підтримки цифрових інновацій набуває наукової та практичної значущості в контексті подальшої трансформації програмно-алгоритмічних засобів міського управління.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є аналіз практичних підходів та обґрунтування теоретико-методологічних засад використання даних для підтримки цифрових інновацій у «розумних містах», а також визначення механізмів управління даними, їх інтеграції та застосування для підвищення ефективності муніципального управління і сталого розвитку міського середовища. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

– Дослідити теоретико-методологічні засади використання даних у розвитку «розумних міст» та визначити роль цифрових інновацій у трансформації міського середовища.

– Проаналізувати стратегії, джерела та методи збору даних, що застосовуються для забезпечення функціонування та розвитку «розумних міст».

– Розглянути концептуальну структуру «розумного міста» на основі даних і визначити особливості формування інформаційної інфраструктури міського управління.

– Оцінити можливості інтеграції різних джерел даних у цифрові рішення та платформи «розумних міст».

– Обґрунтувати підходи до управління даними та етапи впровадження стратегій їх використання для підвищення ефективності муніципального управління і забезпечення сталого розвитку міського середовища.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх застосування органами місцевого самоврядування для вдосконалення системи управління міським середовищем, інтеграції та аналітичної обробки різнорідних джерел інформації, а також впровадження інноваційних рішень у розвитку «розумних міст» на основі даних.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДАТА-ЦЕНТРИЧНИХ ІННОВАЦІЙ У РОЗВИТКУ «РОЗУМНИХ МІСТ»

1.1 Концептуальні засади цифровізації муніципального середовища

Інтеграція концепції «Індустрія 4.0» у стратегічне планування зумовила формування комплексної структури розвитку «розумних міст», що охоплює множину взаємопов'язаних доменів [1]:

- «розумне» довкілля;
- «розумна» мобільність;
- «розумне» життя;
- «розумні» люди;
- «розумна» енергетика;
- «розумна» економіка;
- «розумне» врядування.

Сучасна еволюція цього процесу базується на людиноцентричному підході та методології дизайн-мислення, спрямованих на глибокий аналіз урбаністичних викликів. Муніципалітети мають можливість імплементувати диверсифіковані інноваційні проєкти, обов'язковою вимогою до яких є релевантність щонайменше одному із стратегічних напрямів «розумного міста».

Впровадження загальнонаціональних ініціатив детермінує транзицію від індустріальної до високотехнологічної моделі управління на основі генерації високої доданої вартості [1]. Масштабна цифровізація суспільства орієнтована на досягнення провідних позицій у сфері розвитку ІКТ. Реалізація 20-річної дорожньої карти створення «розумних міст» [1] структурується за стратегічними напрямками, які потребують:

- розбудови високотехнологічної інфраструктури;
- стимулювання економічного зростання;
- формування суспільства знань;

- перехід до цифрового урядування;
- підготовку кваліфікованих кадрів;
- підвищення рівня довіри до технологій.

З позиції системного аналізу, процес інтенсифікації цифрових інновацій в урбаністичному менеджменті спирається на п'ять фундаментальних інституційних стовпів:

- Базово-технологічний – розгортання мереж зв'язку та систем широкосмугового й бездротового передавання даних.

- Сервісний – формування функціональної інфраструктури для підтримки електронного уряду.

- Регуляторно-безпековий – створення нормативно-правового базису, систем кіберзахисту та інструментів верифікації інформаційних масивів.

- Економічний – стимулювання цифрового підприємництва та підтримка технологічних інновацій.

- Соціальний – забезпечення інклюзивного, фінансово доступного мережевого оперування для підвищення інтегральних показників якості життя громадян [2].

У контексті дослідження підходів на основі даних для цифрових інновацій «розумних міст» зазначений інфраструктурний базис виступає першочерговим пререквізитом для розгортання інтелектуальних систем управління. Ефективне функціонування всіх доменів муніципального розвитку безпосередньо залежить від архітектурної спроможності міських платформ агрегувати, очищувати та аналізувати великі за обсягом масиви гетерогенних даних у режимі реального часу. Таким чином, синергія між розбудовою телекомунікаційних мереж, нормативним регулюванням безпеки даних та підвищенням цифрової грамотності населення формує стійку систему, яка дає змогу трансформувати первинну інформацію в об'єктивні інсайти для систем підтримки прийняття рішень, мінімізуючи урбаністичні ризики та забезпечуючи інклюзивність цифрових інновацій.

1.2 Людиноцентрична парадигма цифровізації в концепті «розумне місто»

Сучасна проективна парадигма «Місто 5.0» [3] орієнтована на масштабну цифровізацію процесів надання суспільних послуг задля нівелювання бар'єрів, які обмежують доступ різних референтних груп населення до міських благ. Фундаментальним принципом цього концепту є першочергова ідентифікація та деструкція зазначених соціально-урбаністичних бар'єрів на основі консолідації зусиль муніципального управління, бізнесу та наукової спільноти, що має передувати впровадженню високотехнологічних рішень [4]. Водночас базове бачення парадигми виносить поза аналітичний контур процеси збору та інтеграції користувацьких масивів даних, генерованих безпосередньо громадянами, які є критично важливими для прецизійної кастомізації послуг. Автори [5] фокусуються на локальних інструментах, зокрема, чат-ботах та телемедицині, упускаючи системний аналіз потенціалу великих за обсягом наборів та колекцій даних і сенсорних мереж IoT-пристроїв для побудови розлогих міських інформаційно-технологічних систем.

Попри тривалу декларацію людиноцентричності як стратегічного орієнтиру публічної влади [6], проектування послуг досі підпорядковується внутрішній логіці відомчих регламентів, а не досвіду кінцевих користувачів. Цей інституційний розрив детермінує виникнення деструктивних завад: від додаткового адміністративного навантаження на пацієнтів до обмеження прав осіб з інвалідністю внаслідок лінійності моделей надання сервісів [6]. Практична імплементація людиноцентричних підходів характеризується високою складністю. У попередніх розвідках недостатньо повно відображено оцінювання дата-центричного базису рішень [6], а консерватизм організаційної культури владних структур суттєво обмежує їхню здатність пріоритизувати інтереси громадянина. Для подолання системних суперечностей між технологічними рішеннями та потребами громади необхідна формалізація чітких і вимірюваних індикаторів соціальної інклюзії, які дають можливість

об'єктивно оцінювати прогрес цифровізації на основі інтеграції нормативних прав та цивільної відповідальності [7].

1.3 Методологічні засади дата-центричного «розумного» урядування

У сучасних умовах трансформації урбаністичного простору концепт «розумне місто» постає як провідна архітектурна модель, що делегує даним домінуючу роль у процесах планування та операційного управління [8]. Стрімка проліферація технологій великих за обсягом наборів та колекцій даних та інструментів предиктивної аналітики надає можливість агрегувати потоки інформації з гетерогенних джерел, зокрема, сенсорних мереж, платформ взаємодії та IoT-систем, забезпечуючи високу деталізацію інсайтів щодо комплексної динаміки міського середовища [9]. Наріжним каменем цього процесу є здатність систем до багатовимірного аналізу інформаційних масивів, що уможливорює ідентифікацію латентних шаблонів, прогнозування трендів та розробку таргетованих управлінських інтервенцій для ухвалення верифікованих рішень [10].

Практичне застосування підходів на основі даних забезпечує оптимізацію критичної інфраструктури та раціоналізацію дистрибуції обмежених муніципальних ресурсів. Зокрема, у транспортному секторі інтеграція потокових даних від дорожніх давачів та інтелектуальних логістичних мереж дає змогу динамічно регулювати трафік, мінімізуючи рівень заторів та підвищуючи ефективність мультимодальної мобільності [11]. У просторовому плануванні залучення геоінформаційних систем та методів імітаційного моделювання виступає каталізатором створення екологічно стійких систем, даючи архітекторам можливість превентивно оцінювати компроміси між економічним зростанням та збереженням екосистем [12]. Паралельно з цим, кон'юнкція сенсорних мереж та аналітичного опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій даних реорганізувала управління енерго- й водопостачанням через детекцію точок неефективності, а аналіз

структурованих звітів екстрених служб і відеопотоків спостереження суттєво підвищив рівень громадської безпеки завдяки предиктивній дислокації муніципальних служб [13].

Функціональна роль даних у прототипах «розумних міст» не обмежується автоматизацією сервісів, а постає потужним драйвером громадянської партисипації. Розгортання інтерактивних інформаційних панелей та дата-центричних платформ створює умови для проактивного залучення населення до врядування, забезпечуючи зворотний зв'язок у режимі реального часу та формування рішень, адаптованих під унікальні запити конкретних спільнот [3]. Попри очевидні операційні переваги, успішна цифрова трансформація урбаністичного середовища супроводжується значними технологічними бар'єрами. Експоненційне зростання обсягів і структурна складність інформаційних масивів вимагають розгортання потужної обчислювальної інфраструктури, залучення високого експертного потенціалу, а також прецизійного нормативно-правового регулювання аспектів конфіденційності, захисту інформації та етичних вимірів її використання задля пролонгації суспільної довіри до цифрових інновацій [14].

З огляду на безперервну еволюцію інтелектуального урбанізму, критично важливо враховувати його інтердисциплінарну природу, що вимагає синергетичної конвергенції інструментарію комп'ютерних наук, просторового планування, екології та теорії публічного управління для збалансування економічного, екологічного та соціального вимірів сталого міського розвитку [15].

1.4 Трансформація підходів до використання даних у «розумних містах»

Функціонування інформаційно-технологічних систем «розумних міст» базується на генерації значних обсягів гетерогенних даних із диверсифікованих джерел, аналітична капіталізація яких надає можливість модернізувати

просторове планування, оптимізувати надання муніципальних послуг та підвищити ефективність систем підтримки прийняття рішень [16]. У структурі інформаційних потоків ключове місце посідають дані «розумного» довкілля, які охоплюють параметри систем управління процесами постачання ресурсів та утилізації відходів, а також показники стану повітря, водних ресурсів, температурних коливань та рівнів шумового забруднення в режимі реального часу [3]. Безперервний збір та аналіз цих масивів спеціалізованими метеорологічними станціями забезпечують функціонування предиктивних модулів сповіщення про екстремальні погодні явища, що дає муніципальним службам змогу завчасно вживати превентивних заходів задля мінімізації ризиків [3].

Окреме прикладне значення для розгортання цифрових інновацій має геопросторова платформа «Sphere» [17]. Цей інструмент забезпечує високоточний доступ до масивів супутникових даних, що створює стратегічні переваги для моделювання, моніторингу та довгострокового планування міської інфраструктури. В таблиці 1.1 подано приклади даних «розумного довкілля», інтегрованих у практику «розумного» міського управління

Таблиця 1.1 – Приклади даних «розумного довкілля», інтегрованих у практику «розумного» міського управління [3]

Тип даних	Формат даних/ OpenAccess	Власник даних
1	2	3
Погода	CSV/Доступні	Метеорологічний департамент
Чисельний прогноз погоди	Веб-сайт/ Без доступу	Метеорологічний департамент
Дош	Веб-сайт/ Без доступу	Метеорологічний департамент
Тиск	Зображення веб-сайту/ Доступні	Метеорологічний департамент
Добовий об'єм води в дамбах та водозливах	Веб-сайт PDF/Доступні	Метеорологічний департамент
Використання відновлюваної енергії	CSV/Доступні	Департамент розвитку альтернативної енергетики та ефективності
Якість повітря	JSON/Доступні	Департамент контролю забруднення

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
PM2.5	Веб-сайт/Доступні	Інститути великих за обсягом наборів та колекцій даних
Вітер	Веб-сайт/Доступні	Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій
Водні ресурси	Веб-сайт/Доступні	Департамент водних ресурсів
Гідроінформатика	Веб-сайт/Доступні	Центр гідроінформатичних даних
Інформація про стихійні лиха	API/Доступні	Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій
Повторюваність стихійних лих	API/Доступні	Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій
Інформація про врожай	API/Доступні	Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій
Придатність земель	API/Доступні	Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій

Компаративний аналіз структури інформаційних потоків у сучасних урбаністичних системах свідчить, що більшість наявних масивів даних наразі обмежується дескриптивними та звітними функціями [3]. Ця тенденція властива використанню метеорологічних показників для:

- теоретичного моделювання повеней [18];
- оцінки об'ємів водних ресурсів для ретроспективного аналізу іригації [19];
- енергетичному моніторингу як пасивному базису для формування екологічної політики [3].

Попри декларації національних порталів відкритих урядових даних щодо операційного забезпечення міських процесів [3], поглиблений аналіз структури їхньої експлуатації вказує на переважання академічного вектора використання. Зазначений чинник актуалізує наукову необхідність пошуку та обґрунтування нових підходів для конвергенції статичних інформаційних ресурсів у динамічні процеси управління в режимі реального часу, зокрема у проєктах розвитку людського капіталу [20].

У цифрових інноваціях виокремлюються ключові сектори інтеграції гетерогенних даних:

– «Розумне» урядування та мобільність – потребує оцифрування рутинних функцій, автоматизацію документообігу, впровадження інтерактивних платформ взаємодії з громадянами [3] та використання централізованих репозиторіїв муніципальної інформації [21]. Паралельно залучаються мережі сенсорів для фіксації транспортних потоків та краудсорсингові інструменти оптимізації трафіку.

– Енергетика та економіка орієнтовані на декарбонізацію урбаністичного середовища, тотальну цифровізацію промислових секторів, бізнес-моделей та публічних сервісів на основі методів обробки великих за обсягом наборів та колекцій даних, технологій розподілених реєстрів і хмарних обчислень [22] для забезпечення стійкого зростання [3].

– Соціально-гуманітарний сектор базується на залученні технологій носимих сенсорних пристроїв для превентивного моніторингу біометричних метрик, як от частота серцевих скорочень, насичення крові киснем тощо [23], та масштабуванні програм цифрової грамотності населення [3].

Попри значний потенціал, у поточній управлінській практиці процеси агрегації орієнтовані переважно на дескриптивне генерування звітів, що зумовлює потребу в інтенсифікації розвитку комплексних технологічних архітектур використання інформації шляхом впровадження цифрових інновацій. Так, системи екологічного контролю на базі мережевих давачів та БПЛА здійснюють безперервний збір даних, проте ці масиви транслуються у вигляді статичного веб-контенту чи структурованих файлів для пасивного аналізу, а не для ініціювання оперативних рішень у режимі реального часу [3]. Схожа ситуація обмеження потенціалу телеметрії спостерігається у сфері водозабезпечення [24].

Позитивна динаміка переходу до проактивних моделей фіксується у системах реагування на надзвичайні ситуації під час паводків за рахунок інтеграції супутникових даних, наземних сенсорних мереж та краудсорсингових текстових масивів із соціальних мереж, оброблених методами комп'ютерного аналізу природної мови та геотаргетингу [25]. Проте

дефіцит системного розуміння та відсутність уніфікованих методологій крос-секторальної інтеграції даних на єдиних міських платформах залишаються суттєвими інституційними та технологічними бар'єрами на шляху до автоматизації систем муніципального реагування [3].

1.5 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи подано концептуальні засади цифровізації муніципального середовища. Розглянута людиноцентрична парадигма цифровізації в концепті «розумне місто». Висвітлено методологічні засади дата-центричного «розумного» урядування. Проаналізована трансформація підходів до використання даних у «розумних містах».

РОЗДІЛ 2. ДАТА-ЦЕНТРИЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА АРХІТЕКТУРА ЦИФРОВИХ ІННОВАЦІЙ У «РОЗУМНИХ МІСТАХ»

2.1 Готовність «розумних міст» до стратегії обробки даних

Масштабна цифрова трансформація організаційних структур та систем оперування даними актуалізує науково-практичну потребу у підготовці профільних інженерних кадрів та розробці стратегій управління на основі даних. Дана тенденція обумовлена інтенсивною дифузією та інтеграцією передових технологічних рішень, зокрема мереж п'ятого покоління (5G), IoT-пристроїв [26] та інших інновацій «Індустрії 4.0», ефективна імплементація та адміністрування яких критично залежать від наявності стійкого пулу висококваліфікованих технічних фахівців [27]. Проте «розумний регіон» стикається зі специфічними деструктивними викликами у площині менеджменту людського капіталу, що виражається у суттєвому дисбалансі між архітектурою знань, яка транслюється освітніми інституціями, та реальними вимогами високотехнологічних секторів промисловості [3]. Зазначений кваліфікаційний розрив призвів до гострого дефіциту профільних фахівців, що створює загрозу уповільнення темпів системного переходу національних економік до цифрової моделі функціонування [3].

Задля нівелювання окреслених проблем критично важливим є комплексне оцінювання рівня готовності міст до адаптації та практичного розгортання ефективних дата-стратегій. Це виступає каталізатором для розширення міжсекторальної взаємодії між приватним бізнесом та інституціями публічної влади з метою інтенсифікації розвитку цифрових компетенцій на внутрішніх ринках [27]. Додатково фіксується необхідність таргетованого реформування системи освіти для досягнення повної відповідності навчальних планів мінливим детермінантам сучасного ринку праці [3]. У таблиці 2.1 подано аналіз прогалин ключових викликів для готовності до стратегії обробки даних у Південно-Східній Азії [3].

Таблиця 2.1 – Аналіз прогалин ключових викликів для готовності до стратегії обробки даних у Південно-Східній Азії [3]

Галузь	Поточний стан	Бажаний стан	Виявлені прогалини
Освіта та розвиток навичок	Навчальні програми не відповідають потребам галузі	Оновлені навчальні програми, зосереджені на аналітичному опрацюванні даних та ШІ; Збільшення кількості учнів у галузі науки, технологій, інженерії та математики; Достатня кількість фахівців з даних та технологій;	Невідповідність між освітою та потребами промисловості
Грамотність та обізнаність громадськості	Обмежені програми з обробки даних та ШІ	Високий рівень грамотності в галузі даних та цифрової грамотності; Залучення громадськості до урядових ініціатив, заснованих на даних, для покращення громад, міст та країн;	Недостатня кількість спеціалізованих програм
Технологічна інфраструктура	Нестача фахівців з обробки даних	Загальний доступ до високошвидкісного Інтернету, доступний за ціною або безкоштовний; Широке впровадження Інтернету речей;	Відсутність програм з розвитку грамотності даних
Управління даними	Низький рівень грамотності громадян та посадовців у сфері даних	Комплексні системи управління даними; Уніфікована та прагматична політика; Висока довіра громадськості;	Мінімальна участь громадян в ініціативах «розумного міста»
Організаційна культура в державних органах	Обмежена обізнаність громадськості про те, що таке дані та які переваги дає експертиза даних	Враховання даних у процесі розробки політики; Безперервне навчання посадовців.	Цифровий розрив між міськими та сільськими районами

Окрім того, інформаційно-технологічна архітектура «розумних міст» потребує оптимізації міграційної політики, яка безпосередньо впливає на рівень забезпеченості ринку праці кваліфікованими кадрами. Такі країни, як Сінгапур, Малайзія та Таїланд, демонструють високий рівень залежності від залучення зовнішніх інтелектуальних ресурсів та впроваджують специфічні міграційні інструменти для нівелювання поточних структурних розривів на ринку праці [3]. Ефективний операційний менеджмент міграційних потоків дає можливість

значною мірою мінімізувати негативні наслідки кваліфікаційних дисбалансів та подолати системний дефіцит високотехнологічних кадрів.

Готовність до реалізації дата-стратегій визначається як сукупність технологічних спроможностей та рівня зрілості муніципалітету або організації, що надає можливість ефективно адмініструвати та капіталізувати інформаційні активи задля оптимізації систем підтримки прийняття рішень, стимулювання інноваційної активності приватного сектору й громадянського суспільства, а також підвищення загальної інституційної ефективності врядування [28]. Зазначений концепт є базовим детермінуючим фактором розвитку «розумних міст», архітектура яких вимагає розгортання передової технологічної інфраструктури, формування стійких контурів управління даними, наявності експертного потенціалу в галузі дата-менеджменту та вирощення специфічної організаційної культури, що підтримує дата-центричні ініціативи.

Досягнення містом стану готовності до впровадження дата-стратегій потребує системного розгортання низки взаємопов'язаних компонентів.

По-перше, архітектура високотехнологічної інфраструктури використовувати розгалужені високошвидкісні мережі передачі даних, периферійні IoT-пристрої та обчислювальні потужності хмарних платформ. Зазначені інформаційно-технологічні комплекси повинні забезпечувати безперервну агрегацію та інтелектуальну обробку надвеликих за обсягом масивів інформації, що є передумовою автоматизації та оптимізації операційних процесів і муніципальних служб [29].

По-друге, критично необхідним виступає формування всеохопної нормативно-регуляторної моделі управління даними. Ця структура повинна інтегрувати політики та регламенти, які детермінують інформаційну безпеку, конфіденційність та захист даних, а також стандарти технологічної сумісності (інтероперабельності) та верифікації якості інформаційних потоків. Ефективне дата-врядування гарантує високий рівень довіри (валідності) до даних та забезпечує їхню транскордонне й крос-секторальне використання в різних сегментах урбаністичного простору [30].

Окрім цього, особливої значущості набуває роль профільних аналітиків та архітекторів даних. Муніципальні системи потребують залучення висококваліфікованих фахівців, здатних здійснювати багатовимірний аналіз даних та конвертувати їх у релевантні, придатні для практичного впровадження інсайти. Діяльність цих експертів має підкріплюватися безперервними програмами професійного розвитку та підвищення кваліфікації, що дає змогу оперативно адаптуватися до новітніх інформаційно-технологічних тенденцій та методів інтелектуального аналізу даних [31].

Більше того, внутрішня організаційна культура владних інституцій має імперативно базуватися на принципах прийняття рішень на основі даних. Це потребує інтенсифікації використання аналітичних інструментів на всіх ієрархічних рівнях муніципального управління, а також забезпечення суб'єктів прийняття рішень безперешкодним доступом до релевантних інформаційних масивів та інструментарію їхньої інтерпретації. Трансформація управлінської культури у цьому напрямі виступає ключовим каталізатором цифрових інновацій та перманентного вдосконалення архітектури публічних послуг [32].

Емпіричним прикладом у цій площині є досвід Таїланду, який продемонстрував вагомі результати у розгортанні власних ініціатив «розумних міст» [3]. Уряд країни здійснив цільові капіталовкладення у побудову національної цифрової інфраструктури та модернізацію інститутів датоврядування для підтримки урбаністичних проєктів. Зазначені заходи охоплюють розгортання мережі дата-центрів та стимулювання моделей публічно-приватного партнерства з метою залучення комерційного потенціалу даних для міського розвитку [33]. Актуальними проблемами залишаються обмежений рівень цифрової грамотності управлінського персоналу та дефіцит системного розуміння механізмів крос-організаційного та крос-секторального оперування даними. З огляду на це, органи місцевого самоврядування потребують розробки адаптивних стратегій розвитку «розумних міст», які б базувалися на імплементації фундаментальних принципів «розумних міст»:

- Відкритість та прозорість для розширення можливостей громадян розуміти державні операції та зміцнення довіри.
- Відкриті дані та відкритий вихідний код дають можливість місцевим органам влади обмінюватися даними з громадянами, водночас надаючи інноваційні можливості підприємцям у місті.
- Сталий розвиток довкілля, побудова процесів управління відходами, розробка стратегій відновлюваної енергії, «зелені» середовище та простори.
- Підвищення рівня задоволення та щастя громадян шляхом створення систем, які залучають бізнес до інвестицій, також сприятимуть створенню робочих місць та покращенню економіки, забезпечуючи краще життя громадян.
- Здорове довкілля та інклюзивна система охорони здоров'я, гарантує, що громадяни прагнуть здорового способу життя.

Попри це, на шляху до повноцінної інтеграції систем та забезпечення їхнього інклюзивного покриття в масштабах усіх регіонів зберігаються суттєві деструктивні виклики.

2.2 Використання даних у «розумних містах»

Еволюція концепту «розумне місто» суттєво детермінована стратегічним використанням даних у різних секторах, що забезпечує перехід до інклюзивніших та сталіших моделей урбаністичного розвитку. У даному параграфі систематизовано та висвітлено ключові результати академічних досліджень, присвячених процесам використання даних «розумних міст». Особливу увагу приділено питанням оптимізації мобільних мереж передачі даних, інтеграції технологій екологічно чистої енергетики, специфіці суспільного сприйняття новітніх інформаційно-технологічних рішень, а також загальній стратегічній візії розбудови сталих та резильєнтних міських спільнот.

На сучасному етапі «розумні міста» (див. рисунок 2.1) перебувають в авангарді системних інформаційно-технологічних трансформацій.



Рисунок 2.1 – Ключові аспекти розвитку «розумних міст»

Особливо у країнах де на загальнодержавному рівні здійснюється активна імплементація концепту «розумне місто» [3], яка потребує розгортання урбаністичних центрів, що капіталізують потенціал сучасних інформаційних технологій та інформаційних масивів задля підвищення інтегральних показників якості життя населення (QoL). У світі триває реалізація низки перспективних ініціатив, спільним вектором яких є залучення аналітичного потенціалу великих за обсягом наборів та колекцій даних для підвищення операційної ефективності, екологічної сталості та комфорту міського середовища. Забезпечення практичної реалізації зазначених підходів покладено на диверсифіковану мережу профільних державних інституцій, що координують свої зусилля для формування цілісних інформаційно-технологічних систем [3]. Зазначені інструменти функціонують як уніфіковані репозиторії муніципальної інформації та постають базовими драйверами та інформаційним базисом для розробки цифрових інновацій [3].

Іншим стратегічно важливим суб'єктом у цій інфраструктурній моделі є статистичне бюро, яке виконує функції головного розпорядника та верифікатора державних даних, здійснюючи системний збір, обробку та дисемінацію (поширення) офіційної статистичної інформації щодо різноманітних соціально-економічних аспектів розвитку країни. Через спеціалізовану платформу [3] відомство забезпечує доступ до масштабних інформаційних ресурсів, які мають критичне аналітичне значення для моделювання та проектування систем «розумних міст».

Розробка інноваційних платформ та рішень «розумного міста» для покращення міського життя [16] потребує основи для управління даними міста, визначаючи правила та стандарти, як показано на рисунку 2.2.

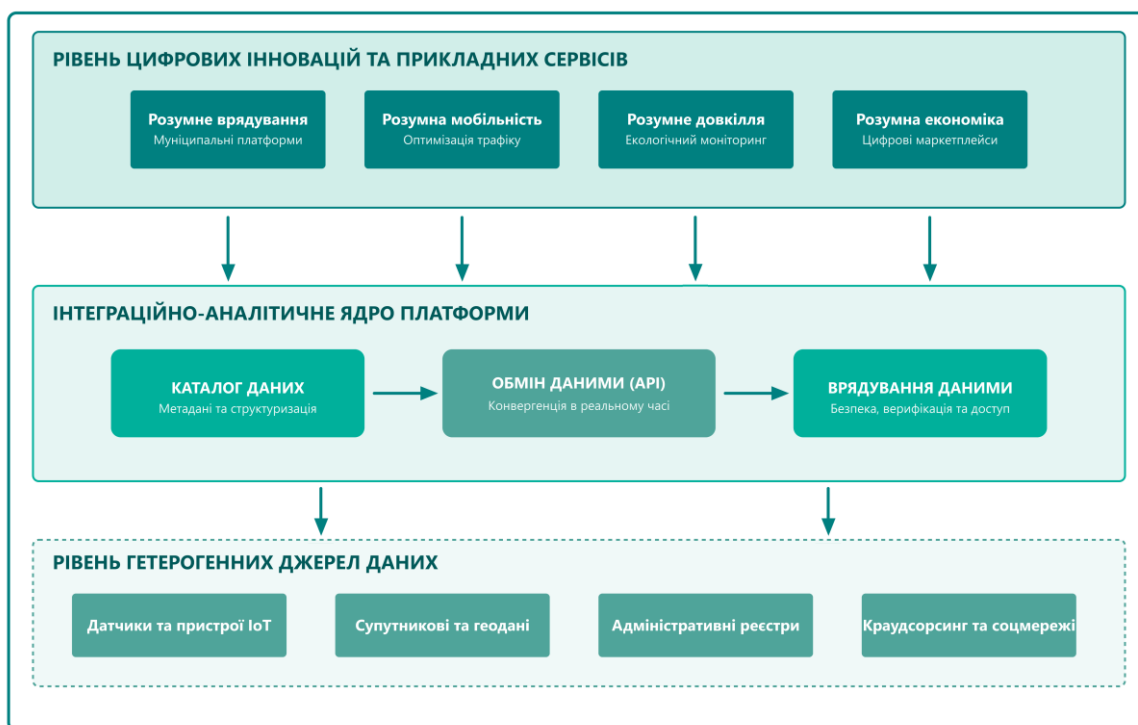


Рисунок 2.2 – Комплексна архітектура платформи міських даних

Каталог даних функціонує як системний інвентар інформаційних ресурсів, що забезпечує високу ефективність їхнього пошуку, верифікації та інтерпретації. Своєю чергою, процеси дата-обміну гарантують захищене шеринг-транспортування інформації між диверсифікованими муніципальними

департаментами та зовнішніми організаціями, що виступає каталізатором міжвідомчої колаборації та впровадження систем підтримки прийняття рішень на основі даних. У сукупності зазначені компоненти формують базовий концептуальний каркас для побудови ефективних систем дата-менеджменту в архітектурі «розумних міст» [34].

Додатково Агентство з розвитку геоінформатики та космічних технологій (GISTDA) [35] інтегрує в загальну інформаційно-технологічну систему експертні рішення у сфері просторового аналізу. Відомство забезпечує генерацію критично важливих масивів геопросторових даних та сервісів, застосовуючи супутникові знімки високої роздільної здатності й деталізовані цифрові карти, доступ до яких реалізовано через спеціалізовану хмарну платформу «Sphere» [17]. Зазначена інформація є фундаментальним інфраструктурним базисом для планування та предиктивного моделювання систем «розумного міста», оскільки надає можливість здійснювати глибокий просторовий аналіз фізичної топології та інженерних мереж урбаністичного середовища.

Окреслені інституції демонструють синергетичний підхід, формуючи всеохопну інформаційно-технологічну систему даних для реалізації загальнодержавних ініціатив «розумних міст». Первинні дані акумулюються з гетерогенних джерел, зокрема з мереж сенсорів, телеметричних пристроїв та комплексів відеофіксації (CCTV). Одержані масиви інформації згодом агрегуються, дедуплікуються та обробляються на базі централізованих платформ, що гарантує високий рівень їхньої інформаційної безпеки та доступності. Реальний інноваційний ефект досягається на етапі дистрибуції цих даних серед релевантних стейкхолдерів: державних органів, комерційних підприємств та безпосередньо громадян, які отримують можливість використовувати зазначені інформаційні активи для прийняття обґрунтованих рішень та розробки прикладних цифрових інновацій для локальних «розумних» спільнот [36].

У контексті парадигми «розумне місто» інформаційні ресурси виступають базовим операційним драйвером інноваційного розвитку. Цей стратегічний актив застосовується для оптимізації різноманітних контурів життєдіяльності міського середовища. Зокрема, для мінімізації критичного рівня завантаженості транспортних мереж здійснюється інтелектуальний аналіз потокових даних з камер відеофіксації, що дає урбаністам змогу:

- ідентифікувати зони екстремального трафіку;
- динамічно оптимізувати пропускну здатність магістралей;
- скорочувати часові витрати на переміщення.

Аналогічні підходи на основі даних використовуються для оптимізації профілів енергоспоживання за допомогою інтелектуальних приладів обліку, інтеграції відновлюваних джерел енергії, стимулювання суспільної адаптації до новітніх технологій, а також для побудови сталих і резильєнтних міських інформаційно-технологічних систем [3].

Стратегічна орієнтація на розбудову «розумних міст» свідчить про високу інноваційну зрілість державного управління. Завдяки цільовому використанню аналітичного потенціалу великих за обсягом наборів та колекцій даних та розширенню міжвідомчої координації, «розумні» муніципалітети трансформуються у сталі, високотехнологічні та адаптивні урбаністичні центри майбутнього.

Проте за результатами проведеного аналізу було виявлено низку критичних науково-технологічних розривів, які стримують процеси цифровізації урбаністичного середовища:

– По-перше, обмежений рівень інтеграції технологій для адаптивного муніципального управління. Існуюча інфраструктура моніторингу та звітності потребує додаткового розгортання контурів автоматизованого реагування в режимі реального часу задля оперативного вирішення таких прикладних проблем, як от транспортні колапси, нерівномірний розподіл водних ресурсів, техногенні та екологічні ризики.

– По-друге, фрагментарність та низька інтеперабельність існуючих систем даних. Навіть за умови функціонування спеціалізованих міських платформ даних, первинні джерела інформації залишаються ізольованими у межах відомчих репозиторіїв. Це унеможливує проведення багатовимірного наскрізного аналізу та розробку інтегрованих крос-функціональних рішень для управління містом. Відсутність безшовної сумісності інформаційних систем нівелює потенціал концепту «розумне місто» щодо підвищення ефективності суміжних секторів.

– По-третє, недостатній рівень інклюзивності та залучення громадянського суспільства. Реалізація сучасної чотиристоронньої моделі партнерства критично залежить від крос-секторальної колаборації, проте реальний рівень залученості мешканців міст до процесів співуправління залишається низьким. Активна партисипація резидентів є обов'язковою умовою для верифікації та підвищення ефективності муніципальних проєктів «розумних міст».

– По-четверте, низький рівень синхронізації між фізичною та цифровою інфраструктурою. Попри певні успіхи у розгортанні базових комунальних мереж та первинних цифрових систем, рівень координації між ними є недостатнім. Без глибокої конвергенції матеріальної інфраструктури та профільних програмно-апаратних рішень досягнення максимальної синергії від імплементації ініціатив «розумного міста» є неможливим.

2.3 Джерела та методи збору даних «розумних міст»

Деякі переваги ініціатив «розумного міста» походять від інновацій та використання даних. У цьому параграфі проаналізовано джерела відкритих урядових даних. Зокрема дані про дорожній рух, навколишнє середовище та комунальні послуги. Систематичний огляд платформ та репозиторіїв відкритих даних допоможе зрозуміти, як ці набори даних підтримують інновації «розумного міста» та, в деяких випадках, сприяють залученню громадян. Крім

того, загальнодоступна документація та звіти проектів «розумного міста» нададуть контекст та якісне розуміння процесу прийняття рішень на основі даних. Задля розв'язання поставлених дослідницьких завдань та пошуку відповідей на ключові наукові питання у роботі застосовано комплексний метод збору та систематизації даних. Методологічний базис дослідження охоплює систематичний аналіз:

- наукової літератури;
- верифікованих джерел первинної інформації;
- платформ відкритих державних даних;
- релевантної нормативно-технічної документації;
- аналітичні звіти.

Зазначений підхід дає можливість ідентифікувати специфіку й класифікацію генерованих інформаційних масивів, визначити архітектуру їхнього походження – джерела даних, а також оцінити поточний стан та перспективні напрями їхнього використання в процесах муніципального планування та операційного оперування міським середовищем.

Додатково застосовано дескриптивний та порівняльний аналіз звітів і стратегічних документів, опублікованих профільними державними інституціями, органами місцевого самоврядування та безпосередньо проектними командами розробників рішень класу «розумне місто» [3]. Емпіричний аналіз цих матеріалів спрямований на детальне вивчення та обґрунтування ролі даних як базового інноваційного драйвера урбаністичних ініціатив і систем підтримки прийняття управлінських рішень.

2.4 Концептуальна структура «розумного міста» на основі даних

Концептуальна структура «розумного міста» на основі даних, зображена на рисунку 2.3, була розроблена з метою дескриптивного моделювання та релевантного відображення інформаційного середовища, що забезпечує повне

врахування специфіки локального контексту та існуючих інституційно-технологічних викликів.



Рисунок 2.3 – Концептуальна структура «розумного міста» на основі даних

Зазначена теоретична модель детермінує межі та архітектуру даного дослідження шляхом окреслення специфічних вимірів інформаційного простору, релевантних для систем муніципального управління та загальнодержавних ініціатив класу «розумне місто». Завдяки ідентифікації цих стратегічних напрямів, запропонований концептуальна структура надає можливість сфокусувати дослідницький фокус на комплексі факторів і детермінант, які безпосередньо корелюють із результативністю практичного розгортання та імплементації стратегій управління на основі даних (див. рисунок 2.4).

Крім того, концептуальна структура «розумного міста» на основі даних слугує основою для всього дослідницького процесу, спрямовуючи формулювання цілей дослідження, дослідницьких питань та гіпотез.



Рисунок 2.4 – Класифікація концептуальних елементів «розумного міста» на основі даних

Запропонована модель формує структуру для дослідження механізмів, за допомогою яких дані та стратегічне планування інтегруються в операційні контури «розумного міста», забезпечуючи повну відповідність усіх етапів дослідження детермінованим науковим цілям. Окреслена концептуальна структура «розумного міста» на основі даних дає змогу сформувати комплексне розуміння інтерференції та взаємодії між інформаційними активами й стратегічним менеджментом, а також оцінити безпосередній внесок

аналітичного опрацювання даних у процеси урбаністичних інновацій. Позиціонування дослідження у межах даної структури дає можливість верифікувати та врахувати багатоаспектність і складність ініціатив «розумних міст», впроваджуючи у контур муніципального управління фази:

- генерації даних;
- аналітичного опрацювання;
- практичної імплементації даних.

Окрім того, у концептуальних межах моделі здійснюється системний аналіз способів капіталізації дата-центричних стратегій для інтенсифікації залученості громадян, оптимізації процесів розподілу ресурсів та підвищення інтегральних показників якості життєдіяльності урбаністичних систем [3]. Структура впровадження процесу управління даними «розумного міста» подана на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Структура впровадження процесу управління даними «розумного міста»

Аналітичний огляд наукової літератури зорієнтований на дескриптивне дослідження та систематизацію існуючих теоретико-методологічних положень щодо конструктів, змінних та функціональних взаємозв'язків у межах сучасного інформаційного середовища. У цьому контексті процеси генерації, агрегації та використання даних розглядаються під кутом верифікації потенційних напрямів їхньої модернізації та цифрових інновацій [3]. Ретроспективний аналіз попередніх наукових праць [3] у галузі інформаційних просторів, концепції відкритих даних та систем підтримки прийняття рішень на основі даних надає можливість оцінити ступінь та характер залучення громадян до загального контуру дата-врядування. Зокрема, досліджується аналітичний потенціал їхнього безпосереднього внеску у формування інформаційного середовища через активність у соціальних медіа, паттерни використання мобільних застосунків та краудсорсингові методи збору даних. Зазначений підхід також спрямований на детермінацію імпліцитного та експліцитного впливу генерованих громадянами даних на процеси формування публічної політики та модернізацію соціальних сервісів.

Для верифікації та доповнення результатів теоретичного аналізу потрібно здійснити комплексне дослідження альтернативних джерел даних, досліджуючи:

- офіційну державну статистику;
- інтерактивні портали відкритих даних;
- альтернативні інформаційні масиви.

Це дасть змогу сформувати валідну модель інформаційного середовища «розумного міста». При цьому доцільно детально дослідити методи та протоколи генерації даних, а також приклади використання інформаційних ресурсів з акцентом на інноваційних практиках та успішних прикладах розгортання цифрових платформ [3]. Окрему увагу приділено ідентифікації системних розривів, технологічних та інституційних викликів, які обмежують ефективність капіталізації наявних джерел даних для оптимізації різних сфер життєдіяльності «розумного міста».

2.5 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено готовність «розумних міст» до стратегії обробки даних. Проаналізовано використання даних у «розумних містах». Проаналізовано джерела та методи збору даних «розумних міст». Сформована концептуальна структура «розумного міста» на основі даних.

РОЗДІЛ 3. ДАТА-ЦЕНТРИЧНІ ІННОВАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ В РОЗВИТКУ «РОЗУМНИХ МІСТ»

Практична імплементація ініціатив «розумних міст» демонструє суттєвий прогрес у площині капіталізації сучасних технологій для нівелювання системних урбаністичних викликів [3]. Зазначені ініціативи, що охоплюють диверсифіковані домени міського середовища – зокрема життєдіяльність, екологію, людський капітал, мобільність, економіку, енергетику та інституційне врядування – наочно ілюструють трансформаційний потенціал сенсорних даних та інтелектуальних технологічних рішень. Водночас процес переходу до повнофункціональної моделі «розумного міста» супроводжується комплексними науково-технологічними викликами у сферах агрегації, аналітичного опрацювання та практичного використання великих за обсягом масивів інформації.

3.1 Аналітична оцінка джерел даних та їх інтеграція в інноваційні рішення «розумних міст»

Задля верифікації та деталізації емпіричних результатів у [3] було здійснено аналітичне оцінювання технологічної спроможності муніципальних систем щодо дистрибуції інформаційних масивів через прикладні програмні інтерфейси взаємодії (API). У таблиці 3.1 подано та систематизовано релевантні джерела первинних даних, аналітичний потенціал яких може бути капіталізований для розробки та практичного впровадження адаптивних і високотехнологічних урбаністичних рішень.

Компаративний аналіз виявлених інформаційних ресурсів показав, що акумульовані у таблиці джерела наразі є єдиними масивами, технічні параметри яких дають можливість здійснювати їхню безпосередню інтеграцію з інноваційними рішеннями класу «розумне місто». Зазначені ресурси можуть потребувати незначної модернізації у площині оптимізації поточних форматів

даних, підвищення рівня інформаційної безпеки та розширення продуктивності серверної інфраструктури.

Таблиця 3.1 – Джерела даних та показники використання в функціонуванні «розумного міста» [3]

Джерело даних	Опис	Інноваційні варіанти
Погода	Доступно у форматі CSV, без API. Додаткові альтернативні джерела	Прогнозування даних про дорожній рух або ризик повеней тощо
Якість повітря	Доступ до API формату JSON для даних у режимі реального часу	Інтеграція систем прогнозування та попередження
Стихійні лиха	Доступ до API GISTDA для даних у режимі реального часу про тип стихійного лиха: повінь, гаряча точка, посуха	Інтеграція систем попередження
Інформація про врожай	Доступ до API GISTDA отримує тип культури, вартість та ціну продажу	Системи планування сільського господарства та інформаційні системи
Придатність землі	Доступ до API GISTDA отримує придатність землі	Системи планування сільського господарства
«Граффі Фондю»	Дані API у режимі реального часу, скарги громадян, як от повені, дорожній рух, відходи, пошкодження доріг тощо	Операції міста, проактивне реагування та ремонт. Автоматизовані послуги та системи прогнозування

Проте в їхньому поточному стані є технологічно можливим проектування та розгортання цифрових інновацій, архітектура яких потребує автоматизованого видобування та оперування даними з цих джерел [3]. На противагу їм, решта ідентифікованих джерел даних конструктивно не спроектовані для взаємодії з платформами «розумних міст». Для забезпечення ефективної капіталізації та інтеграції цих ресурсів в контур інноваційних муніципальних рішень критично необхідним є розробка та впровадження уніфікованих API-інтерфейсів для надання санкціонованого доступу до їхніх реляційних баз даних.

Аналогічно до світової практики розбудови «розумних міст», проєктні ініціативи реалізуються на засадах синергетичної взаємодії між приватним

сектором, академічною спільнотою та інституціями публічної влади. Зокрема, проєкт «Healthcare Wristband for Elderly» [3] орієнтований на безперервний телеметричний моніторинг параметрів здоров'я – частоти серцевих скорочень, артеріального тиску та рівня сатурації кисню тощо, з метою трансляції потокових даних у режимі реального часу медичним установам [37]. Акумуляовані інформаційні масиви надають можливість здійснювати ранню діагностику патологічних ризиків та ініціювати своєчасні клінічні інтервенції, що сприяє підтримці автономності життєдіяльності осіб похилого віку. Інтегрована у пристрій функція детекції падіння автоматично генерує екстрені сповіщення для оперативного надання допомоги, а алгоритми персоналізації медичного супроводу на основі індивідуальних даних суттєво підвищують інтегральні показники якості життя цієї верстви населення [38]. Зазначені розробки переважно є локальними за своїм масштабом та класифікуються як перевірка концепцій. У контурі розвитку ініціатив «розумних міст» етап перевірки концептів дає змогу верифікувати потенційну ефективність архітектурних рішень перед їхнім подальшим масштабуванням та повнофункціональним розгортанням у масштабах усього муніципалітету.

Інші проєкти [3] спрямовані на нівелювання екологічних викликів, які деструктивно впливають на громадське здоров'я, стійкість екосистем та загальний економічний добробут, зокрема:

- забруднення повітряного й водного басейнів;
- кліматичні флуктуації;
- утилізацію твердих побутових відходів.

Вирішення окреслених проблем вимагає системної дифузії інформаційних технологій, розробки релевантних регуляторних політик та ініціювання трансформацій соціальних поведінкових шаблонів. У цьому контексті критично важливим є проєктування та впровадження систем моніторингу в режимі реального часу для контролю якості атмосферного повітря, шумового забруднення та гідрохімічних показників водойм. Конкретним прикладом такої екологічної модернізації є проєкт «Weather

Station» [3], у межах якого розгорнуто мережу периферійних інфраструктурних сенсорів для безперервної агрегації кліматичних даних, багатовимірного кореляційного аналізу впливу антропогенних факторів та візуалізації одержаних результатів в уніфікованих, придатних для інтерпретації форматах.

З огляду на існуючий освітній дисбаланс, великі урбаністичні центри стикаються з необхідністю подолання цифрового розриву, формування базових життєвих компетенцій, інтенсифікації партисипації громадян та підвищення їхньої фінансової грамотності. Стратегічними завданнями у цьому напрямі є розширення інклюзивного доступу до цифрової інфраструктури та організація системного навчання цифрових навичок. Профільні освітні програми та локальні громадські ініціативи спроможні виступити каталізатором розвитку цих компетенцій, забезпечуючи цифрову інклюзію населення. Зокрема, проєкти [3] спрямовані на архітектурну розробку інтерактивних онлайн-платформ, що забезпечують безперешкодний та безкоштовний доступ до верифікованих освітніх та інформаційних ресурсів.

Системний аналіз ініціатив «розумних міст» чітко підтверджує домінуючу роль даних у процесах підвищення операційної ефективності муніципального оперування в різних функціональних доменах. Сенсорні дані, що генеруються у межах таких проєктів, як застосунок «Rain Gauge» та медичний смарт-браслет «Healthcare Wristband» [3], дали можливість суттєво підвищити точність метеорологічного прогнозування, оптимізувати процеси аграрного планування, модернізувати моніторинг стану здоров'я та алгоритми екстреного реагування [39]. Зазначені прикладні рішення наочно демонструють, як оперування потоковими даними в режимі реального часу надає можливість ініціювати адаптивні управлінські інтервенції та формувати персоналізовані сервіси, підвищуючи інтегральну якість міського середовища [40]. Заходи, спрямовані на нівелювання цифрової нерівності та підвищення рівня дата-грамотності населення за допомогою освітніх ініціатив, дасть змогу залучити громадян як активних суб'єктів до контуру сучасної цифрової економіки.

Іншим релевантним прикладом автоматизації урбаністичних процесів є проєкт «CCTV Traffic Counting» [3], що є інтелектуальною транспортною системою, яка капіталізує потенціал великих за обсягом наборів та колекцій даних для динамічного регулювання транспортних потоків, мінімізації заторів та підвищення рівня безпеки дорожнього руху [41]. Впровадження цієї ініціативи підтверджує високу економічну та операційну ефективність дата-центричного управління дорожнім рухом і стимулює розвиток концепції сталої мобільності. Додатково процеси збору та інтелектуального аналізу бізнес-даних, зокрема транзакційних масивів підприємств громадського харчування, забезпечують інструментальну підтримку суб'єктів малого та середнього підприємництва шляхом дескриптивного моделювання споживчої поведінки та оптимізації бізнес-показників. Таким чином, реалізація стратегій управління на основі даних виступає фундаментальним фактором інтенсифікації економічного зростання та підвищення інвестиційної привабливості міст для іноземного капіталу.

Використання систем планування ресурсів підприємства (ERP-систем) та CDPs дала можливість алгоритмізувати й оптимізувати процеси муніципального менеджменту, вдосконалити структуру систем підтримки прийняття рішень та забезпечити належний рівень інституційної прозорості. Водночас на шляху до повної цифрової трансформації урбаністичного простору все ще залишаються невирішеними суттєві науково-технологічні та управлінські виклики, пов'язані з недосконалістю нормативно-правового регулювання, низьким рівнем інтероперабельності систем дата-обміну та інституційними бар'єрами у процесах дифузії зазначених технологій.

3.2 Інтеграція краудсорсингових даних у цифрові платформи «розумних міст»

Для детальної описової ілюстрації архітектури інформаційно-технологічного середовища доцільно розглянути приклади інтеграції краудсорсингових даних у поточні проекти «розумних міст». Спеціалізована цифрова платформа «розумного міста» [3] функціонує як інструмент партисипативного врядування, що надає можливість резидентам здійснювати фіксацію та первинну генерацію даних щодо урбаністичних деструкцій, зокрема пошкоджень об'єктів комунальної інфраструктури, системних збоїв у сфері поводження з твердими побутовими відходами та інших проблем функціонування муніципальних служб. У момент верифікації та реєстрації інциденту в базі даних «Traffy Fondue» [3] інформаційний пакет автоматично маршрутизується та транспортується до профільного підрозділу муніципалітету для подальшого операційного реагування. Зазначений алгоритм формує прямий безшовний контур комунікації між громадянським суспільством та суб'єктами міського управління, мінімізуючи часові лаги ліквідації наслідків інцидентів. Конструктивною перевагою платформи «Traffy Fondue» [3] є інтегрована функція динамічного трекінгу в режимі реального часу, завдяки якій користувачі мають можливість здійснювати безперервний моніторинг життєвого циклу заявки – від фази ініціації до її остаточного закриття. Функціонування даної системи підвищує рівень суспільної довіри та стимулює залученість громадян до процесів муніципального менеджменту завдяки забезпеченню високих стандартів транспарентності та інституційної підзвітності.

Згідно з компаративними параметрами, поданими в таблиці 3.2, платформа «Traffy Fondue» на сучасному етапі є цифровим рішенням, яке одночасно забезпечує санкціонований доступ до відкритих даних та має глибоко інтегрований контур взаємодії з операційними системами міського оперування [42]. Географія практичного розгортання платформи охоплює

майже вісімдесят провінцій, а кількість активних користувачів перевищує п'ятнадцять тисячосіб. У системі було акумульовано понад дев'ятсот сорок тисяч інформаційних повідомлень про інциденти, з яких понад сімсот тридцять тисяч випадків було успішно врегульовано, що демонструє високу операційну ефективність на рівні семидесяти семи відсотків [43].

Таблиця 3.2 – Статичний зріз даних платформи «Traffy Fondue» [44]

Опис	Статистичні показники	
	Кількість	%
Кількість скарг	722835	100%
Кількість вирішених справ	570993	79%
Кількість задоволених громадян	197338	34%
Кількість незадоволених громадян	48950	8.5%

Адміністрація «розумного мегаполісу» [3] активно інтенсифікує процеси масштабування та дифузії «Traffy Fondue», що зумовило високу швидкість адаптації та освоєння платформи міським населенням. Ключові масиви генерованих користувачами даних зосереджені навколо:

- деструкцій дорожнього покриття;
- транспортних колапсів;
- локальних підтоплень;
- несвоєчасного вивезення відходів;
- незадовільного стану пішохідних зон;
- збоїв у системах вуличного освітлення;
- загальних безпекових ризиків.

Технологічна еволюція платформи [3] спрямована на перманентне розширення інтерактивних інструментів взаємодії користувачів із профільними муніципальними відомствами та оптимізацію протоколів передачі звітів (див. таблицю 3.3).

Таблиця 3.3 – Ключові показники ефективності «Traffy Fondue» [44]

Вигода для	Показник	Ефективність
Агентств	Середній час вирішення справи	6,2 години
	Зменшення витрат	42,45 мільйона батів
	Рівень задоволеності персоналу агентства	81%
Громадян	Середній час до повідомлення про справу	65 хв
	Економія коштів з точки зору витрат на проїзд та часу в державному офісі.	79 батів за повідомлення
	Рівень задоволеності громадян	89%

Завдяки реалізації концепції доступу до відкритих даних, платформа «Traffy Fondue» [3] постає інклюзивним інструментом, що дає громадянам змогу залучати власні цифрові компетенції для розробки новітніх ідей та прикладних інноваційних рішень. Система не лише прискорює оборотність процесів ліквідації міських проблем, а й генерує репрезентативні масиви великих за обсягом наборів та колекцій даних для предиктивного аналізу й стратегічного урбаністичного планування. Шляхом проведення багатовимірного аналізу часових рядів акумульованих скарг муніципальні аналітики та суб'єкти прийняття рішень отримують можливість ідентифікувати латентні рекурентні аномалії – як от систематичні пошкодження дорожнього полотна в конкретному просторовому кластері або хронічні збої логістичних маршрутів збору сміття – та приймати стратегічні рішення для усунення їхніх першопричин. Зазначений дата-центричний підхід у режимі реального часу забезпечує високу адаптивність та гнучкість урбаністичного менеджменту стосовно реальних соціальних запитів, що є критично важливим детермінуючим фактором формування інклюзивного та сталого середовища «розумного міста».

3.3 Муніципальний менеджмент та дата-центричні платформи у стратегічному розвитку «розумних міст»

Доцільно провести поглиблене вивчення механізмів муніципального менеджменту та стратегічного планування. Ефективність зазначених контурів безпосередньо детермінується діючими регуляторними політиками, масштабами розгортання макропроектів, а також функціонуванням публічних та семі-публічних сервісів, які у своїй сукупності формують базис міської інфраструктури.

Критично важливим вектором є транзиція до відновлюваних джерел енергії, зокрема солярної, вітрової та раціонально утилізованої гідроенергетики. Нагальною потребою є інтенсифікація енергоефективності шляхом впровадження систем управління попитом, дифузії енергоощадних приладів та імплементації суворіших будівельних нормативів. Проектування інфраструктури інтелектуальних мереж, що інтегрують підсистеми телеметричного моніторингу в режимі реального часу, акумулювання енергії та реалізації програм реагування на попит, дасть можливість оптимізувати процеси енергоспоживання. Інституційне підкріплення зазначених рішень за допомогою розробки систем стимулювання відновлюваної енергетики, впровадження механізмів вуглецевого ціноутворення та спрощення дозвільних процедур виступить прискорювачем процесу дифузії цих цифрових інновацій.

У межах концепції «розумного» врядування обґрунтовується доцільність імплементації систем планування ресурсів підприємства (ERP-систем) для алгоритмізації муніципального менеджменту. Зокрема, архітектурні можливості поширеної ERP-системи Odoo надають можливість забезпечити високу ефективність процесів агрегації та адміністрування структурованих даних щодо організаційних ієрархій, документообігу, фінансової звітності, обліку матеріально-технічних засобів та розподілу ресурсів у публічному секторі [3]. Зазначена інтеграція системно підвищує операційну ефективність, валідність даних, їхню доступність та якість систем підтримки прийняття

рішень, даючи «розумним» інституціям публічної влади змогу функціонувати результативніше.

Водночас CDPs постають як фундаментальний інструмент локального самоврядування для оптимізації процесів прийняття рішень, підвищення якості надання муніципальних послуг та забезпечення належного рівня прозорості [3]. Проте зафіксований дефіцит розуміння методологічних рекомендацій щодо розгортання CDPs та брак спеціалізованого програмного інструментарію вказують на необхідність розробки комплексних програм підвищення кваліфікації та нарощування капітету персоналу. Окрім цього, критичними чинниками для успішного впровадження CDPs є стимулювання практик даних-обміну та нівелювання існуючих бюджетних обмежень.

Суттєвим бар'єром на шляху інституціоналізації міських платформ даних є відсутність чітко артикульованого політичного мандата з боку вищого керівництва. Це актуалізує необхідність лобіювання та адвокації концепції CDPs на найвищих рівнях муніципального управління з акцентом на її здатності системно модернізувати процеси врядування та сервіс-орієнтовані моделі [3].

Міські платформи даних володіють колосальним трансформаційним потенціалом для реформування системи локального врядування. Проте проведені дослідження фіксують глибокий розрив між теоретичними можливостями CDPs та їхнім поточним рівнем практичної дифузії. Подолання виявлених деструктивних чинників за допомогою нарощування кадрового потенціалу, нормативно-правової підтримки та розвитку ініціатив з обміну даними є критично необхідною умовою для реалізації трансформаційного потенціалу CDPs у структурах місцевого самоврядування.

Кампанії з підвищення рівня суспільної обізнаності спроможні артикулювати переваги від розгортання технологій «розумного міста», стимулюючи інклюзивну партисипацію та схвалення цих інновацій соціумом [3]. Локальні громадські ініціативи, зокрема проєкти з розвитку цифрових навичок, забезпечують розширення прав і можливостей індивідів шляхом

інтенсифікації їхньої дата-грамотності та формування життєвих компетенцій, що дає їм можливість повноцінно інтегруватися в контур сучасної цифрової економіки.

Оскільки середовище міського оперування все більше спирається на потокові дані, що генеруються громадянами в режимі реального часу для інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень та розподілу ресурсів, муніципалітети, які здійснюють мапування диверсифікованих джерел даних в операційні платформи, на кшталт «Traffy Fondue» [3], отримують високодеталізовані інсайти щодо урбаністичних викликів. Інформаційні масиви з гетерогенних джерел мають бути консолідовані в межах єдиного централізованого хабу для оптимізації процесів менеджменту та забезпечення комплексного огляду системи. Даний центричний підхід надає муніципальним лідерам можливість отримати цілісну перспективу на наявні проблеми, суттєво підвищуючи аналітичну спроможність щодо проведення багатовимірних досліджень. Зазначені дата-центричні підходи дають містам змогу пріоритезувати проблеми на основі реальних потреб громади, оптимізувати архітектуру надання послуг та ефективно здійснювати моніторинг результативності. Зокрема, профільні наукові розвідки доводять, що муніципалітети, які використовують подібні платформи, демонструють скорочення часу реагування на запити резидентів та вищі показники загальної задоволеності населення.

Попри те, що для всеохоплюючого аналізу може знадобитися специфікація емпіричних результатів соціологічних опитувань, академічна література послідовно підтверджує наявність позитивної кореляції між залученістю громадян та ефективністю управління. Консолідація даних із різних джерел у централізований хаб є імперативом для ефективного муніципального менеджменту. Використовуючи сучасні методи інтеграції даних, міста спроможні формувати комплексні інформаційні зрізи та застосовувати інструменти дата-візуалізації для ідентифікації латентних трендів і шаблонів. Це забезпечує суб'єктів муніципального управління

валідним інструментарієм для прийняття обґрунтованих рішень, оптимізації процесів розподілу обмежених ресурсів та підвищення загальної ефективності функціонування «розумного міста».

3.4 Методологічні стандарти управління даними та їх імплементація в інноваціях «розумних міст»

Емпіричні результати оцінювання рівня дата-грамотності та ефективності муніципального менеджменту, розглянуті у синергії з консолідованими висновками, дають можливість сформулювати концептуальний базис для розв'язання головного дослідницького питання. Задля забезпечення практичної готовності до реалізації дата-стратегій доцільно деплоїти методологічний інструментарій DAMA. Звід знань DAMA-DMBOK [3] презентує собою релевантний світовий стандарт і комплексний підхід до управління даними на рівні організаційних ієрархій, поєднуючи інституції публічної влади та державний сектор. Імплементація даної методології виступає ефективним інструментом для демпфування деструктивних розривів, вона чітко детермінує ключові функціональні області управління даними, які є критично важливими для подолання технологічних бар'єрів та інструментальної підтримки процесів капіталізації даних в ініціативах «розумних міст».

Концептуальний базис управління даними визначається як сукупність регуляторних політик, процедур та стандартів, спрямованих на ефективне й уніфіковане оперування інформаційними активами в межах усієї структури. Відповідно до методології DAMA [3], виділяються такі фундаментальні домени знань:

1. Архітектура даних: проектування, розгортання та супровід інформаційної інфраструктури для забезпечення процесів інтеграції, валідації якості та інклюзивної доступності даних.

2. Моделювання та проектування даних: дефініція й архітектурна розробка структур даних та систем зв'язків між ними для інструментального забезпечення операційних процесів і досягнення стратегічних цілей.

3. Збереження даних та операційне керування: забезпечення високопродуктивного, захищеного та безвідмовного функціонування сховищ даних для підтримання їхньої постійної доступності.

4. Інформаційна безпека: комплексний захист від несанкціонованого доступу, компрометації чи деструктивного використання даних при суворому дотриманні чинних регуляторних нормативів.

5. Інтеграція та інтеоперабельність даних: консолідація даних із гетерогенних джерел для забезпечення безшовного дата-обміну та оперування інформацією в диверсифікованих системах.

6. Управління документами та контентом: адміністрування та контроль неструктурованих масивів даних – текстових документів, медіаконтенту тощо, з метою верифікації їхньої релевантності, точності та комплаєнсу.

7. Побудова сховищ даних та аналітичних систем: архітектурна організація процесів акумулювання, багатовимірного аналізу та візуалізації даних для інформаційного підкріплення систем підтримки прийняття рішень.

8. Управління метаданими: фіксація, систематизація та контроль контекстної інформації про дані, зокрема, трасування походження, їхні дефініції та класифікаційні ознаки.

9. Управління якістю даних: перманентний моніторинг та забезпечення точності, повноти, актуальності та консистентності даних відповідно до встановлених системних вимог.

10. Довідкові та майстер-дані: адміністрування єдиного верифікованого джерела істини, що охоплює базові муніципальні сутності – резидентів, геопросторові адреси, персонал підрозділів тощо, та реплікується в усі суміжні системи для забезпечення їхньої авторитетності й уніфікації.

Інструменти просунутого аналітичного опрацювання, технології ШІ та алгоритми ML посідають домінантне місце у процесах високошвидкісної

обробки та видобування прихованих шаблонів із великих за обсягом масивів даних. Зокрема, інтелектуальні транспортні системи (ITS) спроможні здійснювати динамічне адаптивне регулювання трафіку та транслювати потокову інформацію про дорожню обстановку в режимі реального часу, що суттєво оптимізує параметри урбаністичної мобільності. Капіталізація інвестицій у розгортання IoT-мереж для телеметричного збору даних та безперервного моніторингу виступає каталізатором підвищення загальної ефективності проєктів «розумних міст» [45]. При цьому під урядуванням даними розуміється легітимне здійснення владних повноважень та контролю над процесами управління інформаційними активами [46]. Даний контур здійснює розробку та імплементацію нормативних політик, процедур та регламентів для превентивного забезпечення якості даних, їхнього захисту та відповідності регуляторним комплаєнс-вимогам. Особливий акцент також робиться на необхідності розвитку технічної експертизи, дата-грамотності, доменно-специфічних знань, інституту супроводу даних та софт-скілів у профільних фахівців для забезпечення ефективного функціонування систем врядування.

Серед передових світових практик розробки урядових дата-стратегій релевантним є концепт Стратегії даних Організації Об'єднаних Націй, яка репрезентує всеохоплюючий підхід до побудови систем дата-менеджменту [47]. Методологічні програмно-алгоритмічні комплекси управління даними забезпечують структурований підхід до оперування інформаційними активами з метою максимізації їхньої корисної вартості та мінімізації супутніх ризиків, пов'язаних із безпекою та нормативним регулюванням. Валідна архітектурна модель даних для «розумного міста» повинна детермінувати процеси проєктування інфраструктури, моделювання, інтеграції, управління контентом, майстер-даними та метаданими [46].

Провідний світовий досвід свідчить про перманентну інтенсифікацію дифузії смарт-технологій, при цьому концепція інклюзивного функціонування «розумних міст» набуває дедалі більшого підтвердження. Інтеграція дата-

центричних стратегій у процесі планування та реалізації ініціатив «розумних міст» є критично необхідною умовою для нівелювання гострих урбаністичних викликів та підвищення інтегральних показників якості життя населення. Лідери інклюзивних «розумних міст» спроможні капіталізувати потенціал даних для оптимізації процесів прийняття рішень, раціонального розподілу обмежених муніципальних ресурсів та інтенсифікації партисипації громадян [3]. Програми розвитку «розумних міст» фокусуються на стратегічних доменах:

- «розумне» довкілля;
- «розумна» мобільність;
- «розумне» життя;
- «розумні» громадяни;
- «розумна» енергетика;
- «розумна» економіка;
- «розумне» врядування.

Програмно-алгоритмічні комплекси «розумних міст» спрямовані на структурну трансформацію економіки через високотехнологічний, ціннісно-орієнтований розвиток при забезпеченні принципу інклюзивності для всіх соціальних груп. Еволюція та функціонування зазначених доменів повністю детермінуються процесами агрегації та інтелектуального аналізу гетерогенних типів даних [3].

Дані відіграють домінуючу роль у процесах стратегічного планування та операційного оперування «розумним містом». Зокрема, моделювання транспортних систем може бути якісно модернізоване шляхом інтеграції потокових даних від дорожніх сенсорів, систем громадського транспорту та платформ спільного користування автомобілями. Це надає муніципалітетам можливість оптимізувати трафік, мінімізувати простоя в заторах та підвищити рівень мультимодальної зв'язності інфраструктури.

Розгортання систем моніторингу в режимі реального часу для контролю якості атмосферного повітря, акваторій та інших екологічних параметрів є фундаментальним фактором успішності ініціатив «розумних міст».

Функціонування цих систем дає муніципальним чиновникам змогу приймати своєчасні, обґрунтовані рішення, що підвищують рівень урбаністичної стійкості та екологічної резистентності. Яскравим прикладом є геоінформаційна платформа «Sphere», яка адмініструється Агентством з розвитку геоінформатики та космічних технологій Таїланду («GISTDA») [3] і надає санкціонований доступ до супутникових знімків та дистанційного зондування Землі, що суттєво розширює аналітичний потенціал планування «розумних міст». Шляхом безперервного моніторингу екологічного стану, оцінювання якості повітря та координації дій під час надзвичайних ситуацій, платформа дає органам влади можливість оперативно реагувати на деструктивні аномалії, нівелюючи ризики для громадського здоров'я та мінімізуючи матеріальні збитки.

3.5 Фазована імплементація дата-стратегій «розумних міст»

Комплексний аналіз ініціатив із розгортання «розумних міст» надає можливість констатувати, що дані відіграють домінуючу роль в інтенсифікації ефективності муніципального оперування. Дата-центричні стратегії забезпечують можливість телеметричного моніторингу та адміністрування об'єктів міської інфраструктури в режимі реального часу, оптимізуючи процеси розподілу обмежених ресурсів та підвищуючи якість надання публічних сервісів. Застосування прикладних рішень типу платформи «Traffy Fondue» [3], які забезпечують потокову реєстрацію урбаністичних інцидентів, детермінує прискорення процесів ідентифікації та ліквідації деструкцій, ескалюючи показники загальної операційної ефективності. Системне розуміння функціонального значення даних у контурах міського управління є фундаментальним пререквізитом для інформаційного забезпечення процесів прийняття обґрунтованих рішень у межах еволюції концепту «розумне місто».

Емпіричні результати дослідження акцентують нагальну потребу в кадровому розвитку персоналу органів місцевого самоврядування, а також в

імплементції стійких стратегій та регламентів дата-менеджменту для системної підтримки ініціатив «розумних міст». Підвищення кваліфікації є критично важливим чинником для забезпечення здатності муніципальних службовців оперувати сучасними цифровими інструментами та приймати зважені рішення на основі доступних аналітичних дата-інсайтів. Впровадження валідних стратегій управління даними, зокрема шляхом адаптації уніфікованих методологічних зводів знань, як от програмно-алгоритмічний комплекс DAMA [3], сприятиме алгоритмізації процесів дата-врядування, системної інтеграції та капіталізації інформаційних активів, що стимулює якість систем підтримки прийняття рішень та підвищує операційну спроможність.

Окрім цього, імперативним вектором постає розширення прав і можливостей громадян через надання їм інклюзивних освітніх ресурсів з метою інтерпретації значущості даних, їхнього залучення до процесів міського оперування та активної участі в модернізації локальних громад. Забезпечення резидентів доступними інструментами навчання та підвищення рівня цифрової грамотності активізує їхню суб'єктну роль у дата-центричних міських ініціативах, що безпосередньо екстраполюється на підвищення інтегральних показників якості життя соціуму.

Реалізація зазначених архітектурних трансформацій вимагає ретельно спроектованого та фазованого підходу до імплементції даних у процесі міського управління. Пропонована дорожня карта [3] структурується за такими послідовними етапами:

- Перша фаза: Агрегація первинних масивів даних та базова системна інтеграція, що супроводжується таргетованим навчанням персоналу та інтенсифікацією дата-грамотності.

- Друга фаза: Дефініція стратегічного візіонерського базису та довгострокових планів із залученням громадянського суспільства та локальних ком'юніті.

– Третя фаза: Розгортання пілотних проєктів та створення людиноцентричних тестових майданчиків із залученням інноваційних підприємницьких структур на тендерній основі.

– Четверта фаза: Застосування моделей публічно-приватного партнерства для масштабування та трансферу успішних концептуальних рішень у промислову експлуатацію на рівні міського середовища.

– П'ята фаза: Функціонування повністю інтегрованих потоків даних та розгортання наскрізних стратегій дата-менеджменту в усіх муніципальних службах за активної синергетичної участі приватного сектору економіки.

Зазначений фазований підхід забезпечує високий рівень надійності, прогнозованості та формує чіткий технологічний стек для транзиції муніципалітету до стану дата-центричного «розумного міста».

Попри те, що практичний досвід щодо розгортання «розумних міст» [3] демонструє високу результативність, існує об'єктивна необхідність у поглибленні подальших наукових досліджень у напрямі ефективної інтеграції інструментів просунутого аналітичного опрацювання в операційні та стратегічні контури міського планування. Майбутні наукові розвідки мають концентруватися на прикладних аспектах дата-аналітики в урбаністичному менеджменті, експлікуючи потенціал ШІ та алгоритмів ML у процесах предиктивного обслуговування інфраструктури, оптимізації управління ресурсами та модернізації моделей надання публічних послуг. Додатково, пілотне тестування новітніх технологій у диверсифікованих урбаністичних контекстах дасть змогу отримати емпіричні дані щодо специфіки масштабування та адаптації інноваційних рішень у різних містах на глобальному рівні. Це не лише максимізує ефект від імплементації ініціатив «розумних міст», а й збагатить науковий дискурс валідними знаннями для генералізації та трансферу досвіду в інші регіони.

Прогресивна нормативно-правова політика та збалансовані фінансові механізми надалі виступатимуть ключовими драйверами стимулювання інновацій та успішної дифузії технологій «розумного міста». Системи

преференцій та інсинуацій для сектору відновлюваної енергетики, інструменти сталої мобільності та програми розвитку цифрових компетенцій спроможні суттєво акселерувати загальний прогрес. Дисемінація передового досвіду та екстраполяція отриманих уроків із проєктів «розумних міст» збагатять світову практику, а співпраця з міжнародними партнерами дасть можливість утримувати вітчизняні міста в авангарді інтелектуального урбаністичного розвитку.

3.6 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи подана аналітична оцінка джерел даних та їх інтеграція в інноваційні рішення «розумних міст». Досліджена інтеграція краудсорсингових даних у цифрові платформи «розумних міст». Розглянуто муніципальний менеджмент та дата-центричні платформи у стратегічному розвитку «розумних міст». Висвітлено методологічні стандарти управління даними та їх імплементація в інноваціях «розумних міст». Описана фазована імплементація дата-стратегій «розумних міст».

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Психофізіологічні чинники безпеки операторської діяльності в інфраструктурних проєктах цифрових інновацій

В кваліфікаційній роботі освітнього рівня «бакалавр» досліджуються підходи на основі даних для цифрових інновацій «розумних міст». Розгортання та експлуатація масштабних інформаційно-технологічних систем консолідації муніципальних даних, штучного інтелекту та мереж інтелектуальних дачив вимагають від інженерно-технічного персоналу високої концентрації уваги. Це зумовлює суттєве зростання рівня психоемоційного та психофізичного навантаження. У межах цього аналізу доцільно дослідити ергономічні та психологічні аспекти, що безпосередньо впливають на надійність і безпеку діяльності операторів архітектури «розумного міста».

Компаративні статистичні дані у сфері безпеки життєдіяльності засвідчують, що від 80% до 90% випадків техногенного травматизму та деструктивних помилок є наслідком зниження пильності або девіантної поведінки самих суб'єктів діяльності. Зазначена тенденція детермінована комплексом базових чинників:

- недостатнім рівнем професійної компетентності у сфері управління ризиками;
- низьким рівнем сформованості культури безпечної праці;
- відсутністю внутрішньої мотивації до превентивного дотримання технологічних регламентів;
- допуском до моніторингу складних систем осіб із високою індивідуальною схильністю до ризику [48].

Додатковим каталізатором помилкових рішень виступає хронічна втома та несприятливі психоемоційні стани, які нівелюють здатність до екстреного реагування у критичних або позаштатних ситуаціях.

Індивідуальна вразливість оператора щодо виникнення небезпечних ситуацій масштабується під впливом ендогенних та екзогенних факторів. До ендогенних належать специфіка темпераменту, раптові функціональні порушення організму, зниження сенсорної чутливості та низька професійна задоволеність. Екзогенні фактори охоплюють деструктивні умови праці: інтенсивне інтелектуальне навантаження, ергономічно нераціональну організацію робочого простору, високий темп обробки інформаційних потоків, емоційне перенапруження та тривале навантаження на зорові й слухові аналізатори. Поєднання цих умов призводить до глибокого виснаження нервової системи, сповільнення когнітивних реакцій, дезорієнтації у просторі та зниження здатності до концентрації, що експоненціально підвищує ймовірність системних збоїв та виробничого травматизму.

Теоретичним підґрунтям мінімізації людського фактора є психологія безпеки – міждисциплінарна галузь, яка досліджує закономірності поведінки суб'єкта в умовах підвищеного ризику [49]. Вона вивчає як стабільні психічні властивості (інтелектуальні, емоційні, вольові якості особистості), так і лабільні психічні стани оператора. Базою для ухвалення верифікованих рішень в умовах стресу є фундаментальні психічні процеси: сприймання, абстрактне мислення, оперативна пам'ять та уява.

Динаміка продуктивності праці фахівця з управління великими масивами міських даних корелює з рівнем його психічного напруження. Помірне зростання напруги виконує стимулювальну функцію, підвищуючи мобілізацію когнітивних ресурсів. Проте перетин критичної межі активізації викликає деструктивний ефект, за якого працездатність стрімко регресує. В умовах надмірного напруження розвиваються два полярні типи станів:

– Гальмівний тип: характеризується ригідністю мислення, моторною скутістю, апатією та розсіяністю, що викликає значні часові затримки при використанні інтерфейсів платформи міських даних.

– Збудливий тип: супроводжується гіперактивністю, хаотичністю дій, емоційною лабільністю (дратівливістю, імпульсивністю) та виконанням

надлишкових, технологічно невиправданих маніпуляцій з елементами керування системами.

Для забезпечення безперебійного моніторингу міської інфраструктури критично важливим є своєчасне детектування пароксизмальних станів (короткочасних епізодів втрати свідомості), психогенних депресивних реакцій та станів зміненої свідомості [48]. За наявності схильності до таких проявів особи мають бути відсторонені від диспетчеризації систем життєзабезпечення розумних міст.

Окрему загрозу для надійності цифрових систем становить екзогенна інтоксикація. На відміну від обмеженого стимулювального впливу помірних доз кофеїну, використання сильних нейростимуляторів, транквілізаторів або заспокійливих препаратів викликає виражену млявість, апатію та когнітивний дефіцит. Особливо руйнівним є вплив алкоголю: за даними досліджень, з ним пов'язано від сорок до шістдесят відсотків дорожньо-транспортних пригод та близько шестидесяти відсотків смертельних випадків у промисловому секторі, що підтверджує неприпустимість допуску осіб у стані сп'яніння до керування інфраструктурними об'єктами.

Таким чином, розробка та впровадження інтерактивних платформ міських даних і децентралізованих архітектур обміну інформацією вимагають обов'язкового інтегрування ергономічних та психофізіологічних критеріїв у контур проектування робочих місць операторів з метою нівелювання ризиків, зумовлених людським фактором.

4.2 Вплив психоемоційного навантаження на розробників програмно-алгоритмічних засобів цифрових інновацій та методи його мінімізації

Ураховуючи високу складність та відповідальність, пов'язану з проектуванням програмно-алгоритмічних комплексів та аналітичних інструментів для інтелектуальних систем урбаністичного управління, критично важливим завданням є дослідження впливу психоемоційного навантаження на

інженерно-технічний персонал. Створення предиктивних алгоритмів для аналізу великих масивів даних, що надходять від розподілених мереж інтелектуальних сенсорів, архітектурне моделювання платформ міських даних та забезпечення безперебійної обробки інформаційних потоків у реальному часі вимагають максимальної мобілізації когнітивних ресурсів, абстрактного мислення та здатності до оперативного розв'язання багатокритеріальних задач.

Інтенсифікація розумової діяльності, зумовлена жорсткими часовими обмеженнями та високою вартістю потенційної помилки, призводить до кумулятивного психоемоційного виснаження. Це безпосередньо нівелює продуктивність праці, знижує якість програмного коду і, як наслідок, погіршує точність та надійність аналітичних підходів на основі даних, що залучаються для функціонування цифрових інновацій «розумних міст».

Ігнорування чинника психоемоційного навантаження детермінує низку деструктивних наслідків для стійкості інтелектуальних урбаністичних екосистем. Професійне вигорання, стрес та хронічна перевтома розробників спричиняють дефіцит концентрації уваги, що експоненціально збільшує кількість дефектів у програмно-алгоритмічному забезпеченні. Це призводить до некоректної інтерпретації вхідних масивів даних, збоїв у роботі інтегрованих платформ або викривлення результатів моделювання міських процесів. Подібні девіації здатні спричинити вагомі фінансові, соціальні та екологічні втрати для муніципалітету через ухвалення хибних управлінських рішень. Таким чином, оптимізація психофізіологічних умов праці розробників є прямою інвестицією в надійність та архітектурну стійкість створюваних цифрових інновацій.

У сучасних умовах динамічного прогресу інформаційних технологій персонал зазнає значного психоемоційного тиску. Перманентна взаємодія з гетерогенними інформаційними потоками, потреба в експрес-аналізі ситуацій, персональна відповідальність за валідацію архітектурних рішень та утилітарні часові обмеження викликають стійкі стресові стани. З огляду на це, актуалізується необхідність впровадження комплексу ергономічних та

організаційних заходів, спрямованих на редукцію психоемоційної напруги з дотриманням нормативно-правових вимог у сфері охорони праці.

У процесі синтезу програмно-алгоритмічних рішень для інтелектуальних міських систем фахівці стикаються з екстремальним когнітивним навантаженням. Психоемоційне навантаження трактується як сукупність психофізіологічних реакцій організму на деструктивні чинники виробничого середовища. Відповідно до положень національного стандарту ДСТУ ISO 10075-1:2005, психічне навантаження визначається як зовнішній вплив на ментальну систему людини під час виконання професійних обов'язків [50]. Цей нормативний документ чітко диференціює поняття «психічне навантаження» та «психічне напруження»: перше описує екзогенні фактори (складність алгоритмічних завдань, темп обробки інформації, організаційні умови), тоді як друге є ендогенною (когнітивною, емоційною та фізіологічною) реакцією працівника на зазначені чинники [50].

Згідно з нормативно-правовим актом НПАОП 0.00-1.28-10, суб'єкт господарювання зобов'язаний забезпечувати умови праці, які мінімізують вплив шкідливих і небезпечних виробничих факторів, включно з психоемоційним перевантаженням [51]. Дані правила регламентують параметри організації робочих місць операторів електронно-обчислювальних машин:

- площа виробничого приміщення має становити не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³ на одного співробітника [51];
- рівень освітленості робочої зони повинен складати не менше 300 лк за загальної системи та не менше 500 лк за комбінованої [51];
- параметри мікроклімату мають підтримуватися в межах: температура повітря – 22–24°C, відносна вологість – 40–60%, швидкість руху повітряних мас – до 0,1 м/с [51].

Регламент праці та відпочинку передбачає обов'язкові внутрішньозмінні перерви: тривалістю 15 хвилин за тривалості роботи з обчислювальною технікою до 4 годин на день, та дві перерви по 15 хвилин у разі перевищення

цього часового ліміту, що суттєво знижує гостроту психоемоційного напруження [51].

Організація робочого простору за критеріями ДСТУ ISO 9241-5:2004 спрямована на нівелювання соматичного та психоемоційного дискомфорту шляхом оптимізації робочої пози [52]. Конструкція робочого стільця має забезпечувати динамічну підтримку опорно-рухового апарату, безперешкодну гемодинаміку нижніх кінцівок, легкість трансформації пози, стабільну підтримку хребта та належне тертя поверхонь для запобігання ковзанню тіла. Робоча поверхня повинна характеризуватися високою механічною стійкістю та унеможливлувати перекидання при граничних навантаженнях апаратурою. Матеріали контактних поверхонь меблів повинні мати оптимальні теплоізоляційні властивості для запобігання локальному переохолодженню користувача.

Ергономічне проектування за стандартом ДСТУ ISO 9241-5:2004 вимагає дотримання фізіологічно обґрунтованих просторових параметрів: відстань від органів зору до екрана дисплея має становити 500–700 мм за кута зору 10–20°, а простір для нижніх кінцівок – не менше 600 мм за висотою [52]. Забезпечення природного положення тіла мінімізує статичне м'язове напруження та втому, що безпосередньо редує загальний рівень психоемоційного стресу.

Комплексні методи мінімізації психоемоційного тиску – зокрема, раціональне структурування робочих процесів, гнучкі графіки трудової діяльності, дотримання періодичності відпочинку, впровадження антропометрично вивіrenих робочих місць та надання психологічної підтримки – є критично важливими для збереження високого працездатного потенціалу інженерного персоналу. Реалізація цих підходів не лише покращує соматичне та ментальне здоров'я команди розробників, а й безпосередньо підвищує якість, точність і надійність програмно-алгоритмічних рішень на основі даних, що виступають базисом для сталого функціонування та розвитку цифрових інновацій у сучасних розумних містах.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано психофізіологічні чинники безпеки операторської діяльності в інфраструктурних проєктах цифрових інновацій. Висвітлено вплив психоемоційного навантаження на розробників програмно-алгоритмічних засобів цифрових інновацій та методи його мінімізації.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження засвідчило, що впровадження підходів на основі даних є ключовою передумовою розвитку цифрових інновацій у «розумних містах», оскільки забезпечує інтеграцію різноманітних джерел інформації, підвищує ефективність муніципального управління, підтримує прийняття обґрунтованих рішень та сприяє сталому й людиноорієнтованому розвитку міського середовища.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Подано концептуальні засади цифровізації муніципального середовища.
- Розглянута людиноцентрична парадигма цифровізації в концепті «розумне місто».
- Висвітлено методологічні засади дата-центричного «розумного» урядування.
- Проаналізована трансформація підходів до використання даних у «розумних містах».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Досліджено готовність «розумних міст» до стратегії обробки даних.
- Проаналізовано використання даних у «розумних містах».
- Проаналізовано джерела та методи збору даних «розумних міст».
- Сформована концептуальна структура «розумного міста» на основі даних.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Подана аналітична оцінка джерел даних та їх інтеграція в інноваційні рішення «розумних міст».
- Досліджена інтеграція краудсорсингових даних у цифрові платформи «розумних міст».
- Розглянуто муніципальний менеджмент та дата-центричні платформи у стратегічному розвитку «розумних міст».

– Висвітлено методологічні стандарти управління даними та їх імплементація в інноваціях «розумних міст».

– Описана фазована імплементація дата-стратегій «розумних міст».

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано психофізіологічні чинники безпеки операторської діяльності в інфраструктурних проєктах цифрових інновацій. Висвітлено вплив психоемоційного навантаження на розробників програмно-алгоритмічних засобів цифрових інновацій та методи його мінімізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Sagarik, D., Chansukree, P., Cho, W., and Berman, E. (2018). E-government 4.0 in Thailand: the role of central agencies. *Inform. Polity* 23, 343–353. doi: 10.3233/IP-180006.
- 2 Heeks, R., and Bukht, R. (2018). Digital economy policy: the case example of Thailand. SSRN Scholarly Paper: Rochester, NY.
- 3 Hansen, M. M., K. Koonsanit, and V. Kulmala. "How can data contribute to Smart City innovation: a study from Thailand's Smart City initiatives. *Front Sustain Cities*. 2025; 6: 1473123." 2024.
- 4 Becker, J., Chasin, F., Rosemann, M., Beverungen, D., Priefer, J., vom Brocke, J., et al. (2023). City 5.0: citizen involvement in the Design of Future Cities. *Electron. Mark.* 33:10. doi: 10.1007/s12525-023-00621-y.
- 5 Orlov M. V., Duda O. M., Zhovnir Y. I., Hrybovskyi O. M. DevOps tools in IoT systems // *Комп'ютерно-інтегровані технології*. 2024. Vol. 57. P. 128–138. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2024-57-15.
- 6 Berntzen, Lasse, Johannessen, Marius Rohde, and Ødegård, Ansgar. (2016). A citizencentric public sector: why citizen centricity matters and how to obtain it. 14-20. Available at: <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/handle/11250/2645409>.
- 7 Malek, J. A., Lim, S. B., and Yigitcanlar, T. (2021). Social inclusion indicators for building citizen-centric Smart Cities: a systematic literature review. *Sustain. For.* 13:376. doi: 10.3390/su13010376.
- 8 Kourtit, K., Nijkamp, P., and Steenbruggen, J. (2017). The significance of digital data Systems for Smart City Policy. *Socio Econ. Plan. Sci.* 58, 13–21. doi: 10.1016/j.seps.2016.10.001.
- 9 Orlov M. V., Hrybovskyi O. M., Zhovnir Y. I., Duda O. M. DevOps methodology in IoT ecosystems // *Вчені записки ТНУ*. 2024. Vol. 35(6). P. 163–170. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.6.2/22.

- 10 Batty, M. (2013). Big data, Smart Cities and City planning. *Dial. Hum. Geograph.* 3, 274–279. doi: 10.1177/2043820613513390.
- 11 Kaluarachchi, Y. (2022). Implementing data-driven Smart City applications for future cities. *Smart Cities* 5, 455–474. doi: 10.3390/smartcities5020025.
- 12 Barns, S. (2018). Smart Cities and urban data platforms: designing interfaces for smart governance. *City Cult. Soc. Innov. Ident. Next Gene. Smart Cities* 12, 5–12. doi: 10.1016/j. ccs.2017.09.006.
- 13 Walentek, D. (2021). Datafication process in the concept of Smart Cities. *Energies* 14:4861. doi: 10.3390/en14164861.
- 14 Fang, Y., Shan, Z., and Wang, W. (2021). Modeling and key Technologies of a DataDriven Smart City System. *IEEE Access* 9, 91244–91258. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3091716.
- 15 Radziszewska, A. (2023). Data-driven approach in knowledge-based Smart City management. *European Conf. Knowl. Manag.* 24, 1090–1098. doi: 10.34190/eckm.24.2.1600.
- 16 Nimmanphatcharin, N., Prathombutr, P., Siddhichai, S., Non, A., and Treethidtaphat, W. (2020). Smart City initiatives in Thailand: key concepts and methods.
- 17 Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2024). ‘GISTDA sphere platform’. GISTDA Sphere Platform (blog). 2024. Available at: <https://sphere.gistda.or.th/>.
- 18 Chitwatkulsiri, D., Miyamoto, H., Irvine, K. N., Pilailar, S., and Loc, H. H. (2022). Development and application of a real-time flood forecasting system (RTFlood system) in a tropical urban area: a case study of Ramkhamhaeng polder, Bangkok, Thailand. *Water* 14:1641. doi: 10.3390/w14101641.
- 19 Mainuddin, M., Loof, R., and Abernethy, C. L. (2000). Operational plans and performance in the Phitsanulok irrigation system, Thailand. *Int. J. Water Res. Dev.* 16, 321–342. doi: 10.1080/07900620050059205.

20 Kamnuansilpa, P., Laochankham, S., Crumpton, C. D., and Draper, J. (2020). Citizen awareness of the Smart City: a study of Khon Kaen, Thailand. *J. Asian Finan. Econ. Business* 7, 497–508. doi: 10.13106/jafeb.2020.vol7.no7.497.

21 Digital Government Development Agency (Thailand). (n.d.). Data.go.th API. Retrieved from <https://api.data.go.th>.

22 Luchkevych M., Shakleina I., Duda O. The impact of modern cloud technologies on the efficiency of DevOps processes // *Scientific Journal TNTU*. 2025. No. 1(117). P. 112–122. DOI: 10.33108/visnyk_tntu2025.01.

23 Wu, W.-N. (2020). Determinants of citizen-generated data in a Smart City: analysis of 311 system user behavior. *Sustain. Cities Soc.* 59:102167. doi: 10.1016/j.scs.2020.102167.

24 Kanabkaew, T., Mekbungwan, P., Raksakietisak, S., and Kanchanasut, K. (2019). Detection of PM2.5 plume movement from IoT ground level monitoring data. *Environ. Pollut.* 252, 543–552. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.082.

25 Duangsuwan, S., and Jamjareekulgarn, P. (2020). Development of drone real-time air pollution monitoring for Mobile smart sensing in areas with poor accessibility. *Sensors Materials* 32:511. doi: 10.18494/SAM.2020.2450.

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

27 Commonwealth Secretariat (2022). Regional youth digital skill strategies: South Asia, phase 1: Commonwealth iLibrary.

28 Open Data Maturity Model'. (2019). The ODI. 2019. Available at: <https://theodi.org/>.

29 Shafiullah, M., Rahman, S., Imteyaz, B., Aroua, M. K., Hossain, M. I., and Rahman, S. M. (2023). Review of Smart City energy modeling in Southeast Asia. *Smart Cities* 6, 72–99. doi: 10.3390/smartcities6010005.

30 Goreczky, Péter. (2022). 'Southeast Asia in the US-China tech rivalry II. Digital Infrastructure Development and Data Governance | Magyar Külügyi Intézet'.

28 April 2022. Available at: <https://hiia.hu/en/southeast-asia-in-the-us-china-tech-rivalry-2digital-infrastructure-development-and-data-governance/>.

31 Mutiarin, Dyah, and Lawelai, Herman. (2023). 'Optimizing the role of ICT and citizen participation: analysis of Smart City governance implementation in Jakarta, Indonesia and Kuala Lumpur, Malaysia'. Edited by D. Mutiarin, M. Alam, D. Cahill, J. Sharifuddin, M. Senge, A. Robani, P. Saiyut, and A. Nurmandi. E3S web of conferences 440:03027.

32 Kong, L., and Woods, O. (2021). Scaling smartness, (de)Provincialising the City? The ASEAN Smart Cities network and the translational politics of technocratic regionalism. *Cities* 117:103326. doi: 10.1016/j.cities.2021.103326.

33 Stephenson, M. L., and Dobson, G. (2020). Deciphering the development of smart and sustainable tourism cities in Southeast Asia: a call for research. *Adv. Southeast Asian Stud.* 13, 143–153. doi: 10.14764/10.ASEAS-0033.

34 DEPA. (2021). 'Depa Thailand–Smart City plan'. 18 August 2021. Available at: <https://www.depa.or.th/en/smart-city-plan/smart-city-office>.

35 Kanchanarat, B., Akkathai, U., Pimno, A., and Malisuwan, S. (2023). Monitoring wildfires in Thailand: a case study of the ECSTAR-TeroSpace's earth observation project. *J. Geosci. Environ. Protect.* 11, 23–36. doi: 10.4236/gep.2023.116002.

36 Smitananda, Phanompatt, and Akahat, Noppon. (2024). 'Digital technology policy initiation of local administrative ORGANIZATIONS: the lessons of SMART city development in Thailand'. *Asian Administration & Management Review* 7 (1). Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4764591.

37 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.

38 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.

39 Idris, Syahril Anuar, Lazam, Nor Azlinah Md, Izhar, Lila Iznita, Azman, Dharwisyah Bt, Way, Lim Jin, and Aida, Intan. (2022). ‘Smart Health Monitoring Wristband with Auto-Alert Function’. In 2022 IEEE 5th international symposium in robotics and manufacturing automation (ROMA), 1–7.

40 Chokphukhiao, Chaturapron, Patramanon, Rina, Maitree, Kitkamon, and Kasemvilas, Sumonta. (2020). ‘Health monitoring platform for emergency medicine: user perspective and implementation’. In 2020 joint international conference on digital arts, media and technology with ECTI northern section conference on electrical, electronics, computer and telecommunications engineering (ECTI DAMT & NCON), 133–136.

41 Choosakun, A., Chaiittipornwong, Y., and Yeom, C. (2021). Development of the cooperative intelligent transport system in Thailand: a prospective approach. *Inf. Dent.* 6:36. doi: 10.3390/infrastructures6030036.

42 Traffy Fondue. (2022). Traffy fondue. 18 February 2022. Available at: <https://www.nectec.or.th/news/news-article/traffy-article-2022.html>.

43 Rojanasuvan, Naark. (2024). ‘NBT CONNEXT’. 18 July 2024. Available at: [https:// thainews.prd.go.thnull](https://thainews.prd.go.thnull).

44 Traffy Fondue. (2024). ‘Traffy’. Fondue. October 2024. Available at: <https://www.traffy.in.th/>.

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 Gils, B. (2020). *Data management: a gentle introduction: Balancing theory and practice*, Van Haren Publishing.

47 UN Secretary-General’s Data Strategy. (2020). *UN Data Strategy*. 2020. Available at: <https://www.un.org/en/content/datastrategy/>.

48 Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

49 Ткачук, К. Н., Зацарний, В. В., Зеркалов, Д. В., Полукаров, О. І., Коз'яков, В. С., Мітюк, Л. О., ... & Луц, Т. Є. (2014). Основи охорони праці.

50 ДСТУ ISO 10075-1:2005. Ергономіка. Психічне навантаження в роботі. Частина 1. Загальні поняття, терміни та визначення (ISO 10075-1:2000, IDT). Чинний від 2006-01-01. Вид. офіц. Держспоживстандарт України.

51 НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. Чинний від 2010-01-01. Вид. офіц. Мінсоцполітики України.

52 ДСТУ ISO 9241-5:2004. Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 5. Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози (ISO 9241-5:1998, IDT). Чинний від 2005-01-01. Вид. офіц. Держспоживстандарт України.