МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра управління та адміністрування

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота(проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

РОЗРОБКА МОДЕЛІ «РОЗУМНОГО МІСТА» НА ОСНОВІ IOT ТА BIG DATA В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Виконав: студентка другого курсу, групи 8.0734-дн
Спеціальності 073 «Менеджмент
(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Промисловий менеджмент»
(назва освітньої програми)
Сухенко Валерія Віталіївна
(ініціали та прізвище)

Керівник: завідувач кафедри управління та адміністрування, професор, доктор філософських Воронкова В.Г.,
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Ажажа М.А., професор кафедри управління та адміністрування, професор, доктор наук з державного управління
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Кафедра управління та адміністрування

Затверджую:

Зав. Кафедрою д.ф.н., проф. Воронкова В.Г.
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*)

_____“___“_____2025 р.
(*підпис*) (*дата*)

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачу ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 073 ««Менеджмент»
за освітньо-професійною програмою «Промисловий менеджмент»

студенту групи 8.0734-пм-дн Сухенко Валерія Віталіївна
(*шифр групи*) (*прізвище, ім'я, по батькові*)

на тему РОЗРОБКА МОДЕЛІ «РОЗУМНОГО МІСТА» НА ОСНОВІ IOT ТА BIG DATA В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ
(*повна назва теми випускної кваліфікаційної роботи*)

затверджену розпорядженням по ІННІ ЗНУ від “26”12.2023 р. №2215-с

Термін подання кваліфікаційної роботи до захисту _____
(***тиждень або дата*****)**

Вихідні дані до кваліфікаційної роботи. 1. Гіпотеза дослідження. 2.Формулювання мети, завдань та концепції дослідження. 3. Визначення предмета і об'єкта дослідження. 4. Вибір методології дослідження – методів і підходів. 5. Аналіз вітчизняних і зарубіжних джерел. 6. Формулювання плану дослідження. (*матеріали з теми, що досліджується*)

Напрями розкриття теми кваліфікаційної роботи 1. Теоретико-методологічні засади моделі розумного міста в умовах цифрової трансформації. 2. Практична реалізація технологій IoT та Big Data в моделі «розумного міста». 3. Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя.

(*основні завдання дослідження*)

Використання графічного матеріалу в кваліфікаційній роботі:
Таблиця 1.1.1. Концепції «розумного» міста;
Таблиця 1.1.2. Визначення поняття Smart-місто;
Рис. 1.1. Модель розвитку «розумного» міста Європейського економічного і соціального комітету;
Таблиця 1.1.3. Критерії та характеристика цифрового міста

Рис. 1.2. Архітектура Інтернету речей (IoT);
Таблиця 1.2.1. Класифікація IoT-систем;
Таблиця 1.2.2. Протоколи і стандарти IoT;
Рис. 1.3. Основні переваги Big Data та IoT у сфері розумного середовища;
Таблиця 2.1.1. Аналіз ключових моментів програми «Smart Nation 2.0.»;
Таблиця 2.1.2. Аналіз ключових аспектів впровадження IoT у Барселоні;
Таблиця 2.1.3. Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data в Торонто;
Таблиця 2.1.4. Аналіз основних аспектів стратегії IoT та Big Data в Дубаї;
Таблиця 2.1.5. Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у місті Таллінн;
Таблиця 2.2.1. Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у Києві;
Таблиця 2.2.2. Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у Львові;
Таблиця 2.2.3. Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data в Одесі;
Таблиця 2.3.1. Аналіз ключових аспектів використання технологій IoT та Big Data в Запоріжжі.

(*обов'язкові таблиці, графіки, рисунки тощо*)

Консультанти кваліфікаційної роботи за її окремими розділами

РОЗДІЛ 1. Теоретико-методологічні засади моделі розумного міста в умовах цифрової трансформації
(*назва розділу*)
д.ф.н., проф. Воронкова В.Г._____ _____
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*) (*підпис*)

РОЗДІЛ 2. Практична реалізація технологій IoT та Big Data в моделі «розумного міста»
(*назва розділу*)
д.ф.н., проф. Воронкова В.Г._____ _____
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*) (*підпис*)

РОЗДІЛ 3. Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя
(*назва розділу*)
д.ф.н., проф. Воронкова В.Г._____ _____
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*) (*підпис*)

Календарний план підготовки та виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	*Етапи підготовки та виконання кваліфікаційної роботи*	*Термін виконання*	*Фактичне виконання*
1	Розкрити сутність концепції «розумне місто» на прикладі зарубіжних концепцій розвитку розумних міст;		**Виконано**
2	Дослідити концепцію «Smart-city» як соціальний, культурний та економічний феномен у складі динамічної агломерації;		**Виконано**
3	Розглянути технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data);		**Виконано**
4	Провести аналіз взаємодії IoT та Big Data в міському середовищі;		**Виконано**
5	Проаналізувати зарубіжний досвід впровадження технологій IoT та Big Data;		**Виконано**
6	Розглянути приклади реалізації технологій IoT та Big Data в Україні;		**Виконано**
7	Здійснити аналіз у впровадженні технологій IoT та Big Data в місті Запоріжжя;		**Виконано**
8	Обґрунтувати виклики та перспективи впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя;		**Виконано**
9	Розробити практичні рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя;		**Виконано**
10	Оформлення роботи (Відгук наукового керівника та рецензія);		**Виконано**
11	Підготовка презентації. Створення доповіді та слайдів для захисту;		**Виконано**
12	Нормо контроль		**Виконано**

Науковий керівник д.ф.н., проф. Воронкова В.Г._____ _____
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*) (*підпис*)

Нормо контроль к.п.н., доц. Венгер О.М._____ _____
(*науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали*) (*підпис*)

Завдання прийняв до виконання здобувач ***студент групи*** 8.0734-пм-дн
(*шифр групи*)

Сухенко Валерія Віталіївна_____ _____
(*прізвище, ім'я, по батькові*) (*дата*) (*підпис*)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра Сухенко Валерії Віталіївни на тему «Розробка моделі розумного міста на основі технологій інтернету речей та великих даних в умовах цифрової трансформації»

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 0073 «Менеджмент», науковий керівник Воронкова В.Г., Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра управління та адміністрування, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню теоретико-методологічних засад функціонування smart-міст, визначено роль IoT як джерела даних та Big Data як інструменту їх обробки й аналітики. Проаналізовано зарубіжний досвід упровадження smart-технологій та особливості їх використання в Україні. Окрему увагу приділено стану впровадження IoT і Big Data в місті Запоріжжя та оцінці перспектив їх розвитку. Визначено основні проблеми й виклики реалізації smart-рішень на місцевому рівні. Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження IoT та Big Data з урахуванням післявоєнної смарт-відбудови міст України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА ТА СЛОВОСПОЛУЧЕННЯ: РОЗУМНЕ МІСТО, МОДЕЛЬ РОЗУМНОГО МІСТА, SMART-CITY, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ВЕЛИКІ ДАНІ, IOT, BIG DATA, ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ, МІСЬКЕ УПРАВЛІННЯ.

SUMMARY

Qualification work of master’s degree of Valeria Vitalievna Suhenko

Valery Vitalyivna Sukhenko's master's thesis on the topic "Development of a smart city model based on Internet of Things and big data technologies in the context of digital transformation"

Qualification work for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 0073 "Management", supervisor V.G. Voronkova, Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Desired Department of Management and Administration, 2025.

The qualification work is devoted to the research of the theoretical and methodological foundations of the operation of smart cities, the role of IoT as a source of data and Big Data as a tool for their processing and analysis is defined. The foreign experience of implementing smart technologies and the peculiarities of their use in Ukraine are analyzed. Particular attention is paid to the state of implementation of IoT and Big Data in the city of Zaporizhia and to the assessment of their development prospects. The main problems and challenges of implementing smart solutions at the local level have been identified. Practical recommendations for the implementation of IoT and Big Data are offered, taking into account the post-war smart reconstruction of Ukrainian cities.

KEY WORDS AND PHRASES: SMART CITY, SMART CITY MODEL, SMART-CITY, INTERNET OF THINGS, BIG DATA, IOT, BIG DATA, DIGITAL TRANSFORMATION, URBAN GOVERNANCE.

ЗМІСТ

ВСТУП……11

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛІ РОЗУМНОГО МІСТА В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ……..18

1.1. Концепція розумного міста в контексті цифрової трансформації…....18

1.2. Технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data)……..…28

1.3. Взаємодія IoT та Big Data у міському середовищі …….……36

Висновки до розділу 1……...42

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ IOT ТА BIG DATA В МОДЕЛІ РОЗУМНОГО МІСТА……..……45

2.1. Зарубіжний досвід впровадження IoT та Big Data у Smart City ……..45

2.2. Приклади реалізації технологій IoT та Big Data в Україні…….……56

2.3. Впровадження IoT та Big Data в місті Запоріжжя……61

Висновки до розділу 2……...64

РОЗДІЛ 3. ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ IOT ТА BIG DATA В УКРАЇНІ ТА МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ…….66

3.1. Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в Україні…….……66

3.2. Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в місті Запоріжжя…..……68

Висновки до розділу 3……...72

ВИСНОВКИ……...74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..76

ВСТУП

В умовах глобальної цифрової трансформації та стрімкої урбанізації міста стають ключовими осередками соціально-економічного розвитку, інноваційної діяльності та формування якості життя населення. Сучасні виклики, зокрема зростання навантаження на міську інфраструктуру, екологічні проблеми, необхідність підвищення ефективності управління ресурсами та забезпечення безпеки громадян, актуалізують пошук нових моделей управління міським розвитком. Однією з таких моделей є концепція «розумного міста» (Smart City), яка ґрунтується на широкому використанні цифрових технологій, зокрема Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що технології IoT та Big Data сьогодні виступають ключовими інструментами цифровізації міського середовища, забезпечуючи безперервний збір, обробку та аналіз великих обсягів даних у реальному часі. Їх інтеграція в систему міського управління дозволяє підвищити ефективність функціонування транспортної, енергетичної, екологічної та соціальної інфраструктури, забезпечити прозорість управлінських рішень, а також покращити якість надання публічних послуг. Для України, яка перебуває в умовах глибоких соціально-економічних трансформацій та післявоєнної відбудови, впровадження smart-city рішень є не лише інструментом модернізації, а й стратегічним чинником сталого розвитку територій.

Особливої уваги потребує адаптація концепції «розумного міста» до умов конкретних регіонів і міст, з урахуванням їх соціально-економічних, інфраструктурних та управлінських особливостей. У цьому контексті місто Запоріжжя є показовим прикладом великого індустріального центру, який має значний потенціал для впровадження цифрових технологій, але водночас стикається з низкою викликів, пов’язаних з застарілою інфраструктурою, екологічними проблемами та обмеженими фінансовими ресурсами. Це

обумовлює необхідність наукового обґрунтування моделі smart-city з використанням IoT та Big Data, адаптованої до умов міста Запоріжжя.

Вагомий внесок у формування теоретичних засад розвитку розумних міст зробили зарубіжні дослідники. Зокрема, Дж. Беллісент акцентує увагу на необхідності впровадження нових управлінських і бізнес-моделей у smart-містах, що забезпечують адаптивність міських систем до технологічних та соціально-економічних змін. У працях В. Даттона місто розглядається як мережева, інформаційно взаємопов'язана система, у якій цифрові технології виступають ключовим чинником трансформації управління та комунікацій. Проблематику інноваційного розвитку міст у контексті економіки знань досліджує Т. Інкінен, підкреслюючи роль інноваційних екосистем та цифрової інфраструктури у підвищенні конкурентоспроможності міських територій. Важливу роль у формуванні теоретичного підґрунтя дослідження відіграють праці вітчизняних науковців. Зокрема, у дослідженнях В. Г. Воронкової та В. О. Нікітенко місто розглядається як креативний і цифровий простір, що формується в умовах розвитку цифрового суспільства та інноваційної економіки. У працях О. Л. Єршової та Л. І. Бажан комплексно проаналізовано концепцію розумного міста, її моделі, технології та питання стандартизації, тоді як О. В. Тур зосереджує увагу на ролі smart-city як основи сталого розвитку територій. Окреме місце в теоретико-методологічній базі дослідження займають наукові праці В. Г. Воронкової, Н. Г. Метеленко, В. О. Нікітенко, М. А. Ажажі та О. М. Венгер, у яких цифрові технології розглядаються як ключовий чинник сталого розвитку екологічного менеджменту, забезпечення екологічної безпеки та формування зеленої економіки в умовах глобальних викликів. Автори обґрунтовують доцільність інтеграції цифрових рішень, систем моніторингу та аналітики даних у процеси управління міськими та регіональними системами, що є надзвичайно актуальним для розвитку сучасних розумних міст. Значну наукову цінність для даного дослідження також мають праці В. Г. Воронкової, В. О. Нікітенко та Н. Г. Метеленко, присвячені концепції зеленої цифрової трансформації як

драйвера сталого розвитку регіонів у період повоєнного відновлення. У цих роботах підкреслюється роль цифрових технологій, зокрема IoT та Big Data, у модернізації міської інфраструктури, підвищенні ефективності управління, екологічної стійкості та соціально-економічної адаптивності територій. Узагальнення зазначених наукових підходів дозволило сформувати цілісне бачення моделі розумного міста як складної соціально-економічної та технологічної системи, що функціонує на основі даних і відповідає викликам цифрової трансформації та післявоєнної реконструкції.

Метою магістерської роботи є розробка моделі розумного міста на основі інтеграції технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) в умовах цифрової трансформації, спрямованої на підвищення ефективності міського управління, якості життя мешканців та забезпечення сталого розвитку міста.

Завдання бакалаврської роботи:

— дослідити теоретико-методологічні засади концепції «розумного міста» в умовах цифрової трансформації;

— розкрити сутність та особливості технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data);

— проаналізувати механізми взаємодії IoT та Big Data у міському середовищі;

— узагальнити зарубіжний досвід впровадження IoT та Big Data в моделях smart-city;

— дослідити практику реалізації технологій IoT та Big Data в Україні;

— здійснити аналіз впровадження smart-city рішень у місті Запоріжжя;

— визначити основні виклики та перспективи використання IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя;

— розробити практичні рекомендації щодо впровадження технологій IoT та Big Data в управлінні розвитком міста Запоріжжя.

Предметом дослідження є управлінські, організаційні та технологічні аспекти впровадження Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) в моделі розумного міста.

Об'єктом дослідження є цифрове місто як соціально-економічна система в умовах цифрової трансформації.

Методи дослідження. Методологічну основу дослідження становлять загальнонаукові та спеціальні методи пізнання, зокрема: аналіз і синтез – для дослідження сутності концепції smart-city; системний підхід – для розгляду міста як складної соціально-економічної системи; порівняльний аналіз – для узагальнення зарубіжного та вітчизняного досвіду впровадження IoT та Big Data; структурно-функціональний метод – для аналізу компонентів моделі розумного міста; графічні та табличні методи – для візуалізації результатів дослідження.

Під час написання магістерської роботи було використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, що забезпечило системність, обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

1) Метод аналізу застосовувався для розчленування складних понять і процесів на окремі елементи, зокрема при (дослідженні сутності та складових концепції «розумного міста»; аналізі технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data); вивченні елементів міської цифрової інфраструктури.

2) Метод синтезу використовувався для об'єднання отриманих теоретичних положень у цілісну модель smart-city, а також для формування узагальнених висновків і рекомендацій.

3) Системний підхід застосовано для розгляду міста як складної соціально-економічної системи, у якій взаємодіють технічні, управлінські, соціальні та інформаційні компоненти. Це дозволило (визначити місце IoT та Big Data у загальній структурі міського управління; проаналізувати взаємозв'язки між транспортною, енергетичною, екологічною та

адміністративною підсистемами; обґрунтувати доцільність інтегрованої smart-city платформи).

4) Метод порівняльного аналізу використовувався для (дослідження зарубіжного досвіду впровадження IoT та Big Data у містах світу (Сінгапур, Барселона, Лондон тощо); зіставлення практик цифровізації міст України; виявлення спільних і відмінних рис у підходах до впровадження smart-city рішень).

5) Структурно-функціональний метод застосовувався для аналізу (основних компонентів моделі розумного міста, функцій IoT-пристроїв і систем Big Data у межах smart-city, ролі кожного елемента в забезпеченні ефективного міського управління).

6) Логічний метод використовувався для побудови послідовної структури дослідження, формування аргументації та доведення положень роботи. Метод узагальнення дозволив сформулювати висновки за результатами аналізу теоретичних і практичних матеріалів, а також розробити рекомендації щодо впровадження IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя.

7) Графічні та табличні методи використовувалися для (наочного подання архітектури smart-city, систематизації інформації про зарубіжний і вітчизняний досвід, візуалізації взаємодії IoT та Big Data, порівняння підходів до впровадження технологій).

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні інтегрованого підходу до формування моделі розумного міста на основі поєднання технологій IoT та Big Data з урахуванням специфіки українських міст, а також у розробці практичних рекомендацій щодо впровадження smart-city рішень у місті Запоріжжя в умовах цифрової трансформації та післявоєнної відбудови.

Наукова новизна даного дослідження полягає в наступних аспектах: 1) Обґрунтовано інтегровану модель розумного міста, що базується на поєднанні технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data), адаптовану до соціально-економічних, інфраструктурних та управлінських умов. 2) Удосконалено підхід до використання технологій IoT та Big Data у міському

управлінні, який передбачає їх комплексне застосування не лише як інструментів моніторингу, а як основи для аналітичної підтримки управлінських рішень у режимі реального часу. 3) Набуло подальшого розвитку теоретичне обґрунтування ролі Big Data в системі smart-city, зокрема в частині використання даних, зібраних IoT-пристроями, для прогнозування навантажень на міську інфраструктуру та оптимізації використання ресурсів. 4) Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження технологій IoT та Big Data в умовах цифрової трансформації та післявоєнної відбудови міст України, з урахуванням специфіки міста Запоріжжя як великого промислового центру.

Сфера можливого застосування результатів кваліфікаційної роботи. Результати кваліфікаційної роботи , спрямованої на розробку моделі розумного міста на основі IoT та Big data в умовах цифрової трансформації, мають потенціал для практичного застосування в різних сферах. Це включає місцеве управління, екологічні програми розвитку міст, підтримку стартапів, створення освітніх програм для підготовки фахівців у галузі цифрової економіки, а також використання отриманих даних для наукових досліджень у сферах урбаністики, сталого розвитку та екології. Запропоновані рішення здатні не лише сприяти покращенню умов життя міських жителів, а й стимулювати сталий розвиток регіонів і держав загалом. Інтеграція цифрових технологій у систему міського управління стає ключовим фактором підвищення ефективності, зміцнення економічної конкурентоспроможності та забезпечення екологічної стійкості міських структур.

Практична значимість результатів кваліфікаційної роботи полягає у можливості їх практичного використання в процесі цифрової трансформації міського середовища, зокрема при впровадженні концепції Smart City на основі технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data).

Розроблена в роботі модель «розумного міста» може бути використана органами місцевого самоврядування, комунальними підприємствами та профільними установами як методологічна основа для планування та

реалізації програм цифрового розвитку, модернізації міської інфраструктури, а також формування стратегій смарт-відбудови міст України у післявоєнний період. Запропонована модель дозволяє інтегрувати різнорідні джерела даних та забезпечити підтримку управлінських рішень на основі аналітики великих даних. Практичну цінність мають результати аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду впровадження IoT та Big Data, які можуть бути використані для адаптації кращих світових практик до умов українських міст. Узагальнені приклади реалізації smart-рішень в Україні створюють підґрунтя для їх подальшого масштабування та впровадження на регіональному рівні.

Окрему практичну значимість становить дослідження стану впровадження технологій IoT та Big Data в місті Запоріжжя. Запропоновані рекомендації щодо розвитку цифрової інфраструктури, електронних сервісів, екологічного моніторингу, транспортних систем та енергоменеджменту можуть бути використані під час оновлення міських програм цифровізації та прийняття управлінських рішень.

Структура та обсяг роботи обумовлені метою, завданнями та предметом дослідження. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Обсяг магістерської роботи складає 83 сторінки друкованого тексту.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛІ РОЗУМНОГО МІСТА В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

1.1 Концепція розумного міста в контексті цифрової трансформації

З кожним століттям, десятиліттям і навіть роком з'являються нові технології, які змінюють наше оточення в прагненні покращити умови майбутнього життя. Однак стрімкий розвиток технологій трансформував наше традиційне уявлення про місто як економічну парадигму. Натомість усе більшого значення надається концепції «Розумного міста» – результату синтезу кількох глобальних тенденцій, таких як урбанізація, локалізація та цифровізація. Цей підхід означає перехід до цифрового управління сучасними міськими структурами.

Перш ніж мова піде про новітні мегатренди такі як технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) та як вони інтегруються у Наше майбутнє через розвиток Smart-міст, в яких ми живемо, спочатку розглянемо, що являє собою концепція «розумного» міста та як вона пов'язана з покращенням нашого життя.

У сучасному світі проєкти Smart-city стали однією з ключових форм організації територій та соціально-економічного устрою суспільства. Варто

зазначити, що у світовій практиці існують різні підходи до трактування цього поняття. Нерідко спостерігається плутанина між терміном «розумне місто» та іншими подібними поняттями. Часто люди замінюють його на такі, як «інноваційне місто» чи «цифрове місто», а також на окремі терміни, що з'явилися відносно недавно: «мудре місто», «зелене місто (green-city)» та «кабельне місто (Wired City)». У таблиці 1.1.1. розглянуто концепції розумного міста.

Таким чином, загалом було пояснено зміст різних термінів, які часто вважають синонімами до поняття Smart-city. Крім того, встановлено, що міста можуть одночасно застосовувати кілька з цих термінів для власного позиціонування.

Таблиця 1.1.1.

Концепції «розумного» міста

Назва	Зміст концепції
Концепція смарт-міста (Smart City)	Місто, яке використовує ІКТ, щоб зробити критичні компоненти інфраструктури та послуги міста – адміністрацію, освіту, охорону здоров'я, громадську безпеку, нерухомість, транспорт і комунальні послуги – більш обізнаними, інтерактивними та ефективними [1].
Концепція кабельного міста (Wired City)	Місто, що має розвинуту інфраструктуру, дозволяє передавати інформацію та забезпечує підключення до мережі Інтернет[2].
Концепція цифрового (Smart city) та електронного (е-місто) міст	Місто, де цифрові технології використовуються для оптимізації різних процесів, а також для надання електронних послуг[3].
Концепція зеленого міста (Green City)	Зелене місто слідує зеленому зростанню, яке є новою парадигмою, яка сприяє економічному розвитку, одночасно зменшуючи викиди парникових газів і забруднення, мінімізуючи відходи та неефективне використання природних ресурсів і зберігаючи біорізноманіття[4].
Концепція інноваційного міста (Innovation City)	Місто, яке активно просуває та висвітлює роль наукоємності та технічного прогресу, як однієї з визначальних характеристики, пов'язані з містом. Інноваційне місто часто називають розумне місто; це стосується використання комунікаційних та сенсорних технологій у містах[5].
Концепція мудрого міста (Wise City)	Керівними принципами мудрого міста є універсальні цінності (або чесноти), що стосуються справедливості, демократії, піклування про природне середовище, доброта, співчуття та досконаліть. «Мудрі міста – глобальна мережа аналітичних центрів[6].

Таблиця 1.1.1. Джерело: систематизовано на основі [1-6].

Надалі ми перейдемо до розгляду розробки та впровадження концепції «розумного (цифрового) міста», його визначення в зарубіжному контексті.

Розробка і впровадження концепції «розумного міста» є одним із ключових напрямків урбаністичного розвитку не лише в розвинених країнах Європи, Азії та США. Ця модель вже активно досліджується й реалізовується у багатьох країнах, що розвиваються. Держави спільно з міжнародними організаціями та численними компаніями, які займаються розробкою і вдосконаленням цифрових технологій, вкладають у поняття «smart-місто» різні інтерпретації (таблиця 1.1.2). Як правило, концепція «розумного міста» передбачає використання сучасних технологій і цифрових інновацій для поліпшення якості життя мешканців, підвищення ефективності муніципальних послуг і зміцнення конкурентоспроможності місцевих громад.

Таблиця 1.1.2.

Визначення поняття Smart-місто

Країна; міжнародні організації	Визначення Smart-місто
Велика Британія	визначення smart-міста не є статичним: немає абсолютного визначення, немає кінцевої точки, а, скоріше, є процес чи серія кроків, завдяки чому міста стають більш “придатними для життя” та витривалішими, а отже, здатними швидше реагувати на нові виклики.
Іспанія	визначає концепцію smart-міста як «цілісний підхід до міст, який використовує ІКТ для покращення якості життя та доступності жителів до різноманітних послуг, та забезпечує постійне покращення сталого економічного, соціального та екологічного розвитку».
Японія	визначає smart-місто як «стале місто чи регіон, що включає ІКТ та інші новітні технології для вирішення різноманітних проблем, з якими стикається (планування, розвиток, управління та експлуатація)». Проекти “розумного” міста можуть бути успішними лише за умови залучення різних зацікавлених сторін, таких як розробники технологій та постачальники послуг (які займаються технологіями); міські забудовники (які додають технології); міські адміністратори (які використовують

	технології); жителі та місцеві компанії (які є споживачами технологій).
ЄС	«smart-місто – місце, де традиційні мережі та послуги стають більш ефективними завдяки використанню цифрових технологій та ІКТ і спрямовані на благо його жителів та бізнес-спільноти». Це свідчить про прагнення до сталості через «розумні» мережі міського транспорту, модернізовані об'єкти водопостачання та захоронення відходів.
OECD[1]	визначає smart-міста як «ініціативи чи підходи, які ефективно використовують цифровізацію для підвищення добробуту громадян та надання більш ефективних, сталих та інклюзивних міських послуг та середовища як частини спільного процесу, що включає багато зацікавлених сторін».
Cisco[2]	Smart-місто – місто, що застосовує «масштабовані рішення, які використовують ІКТ для підвищення ефективності, зменшення витрат та підвищення якості життя».
IBM	«Smart-місто – місто, яке оптимально використовує всю взаємопов'язану наявну інформацію в режимі реального часу, для кращого розуміння його функціонування, оптимізації використання обмежених ресурсів».

Таблиця 1.1.2. Джерело: [7, с. 10-11].

Аналізуючи наведені вище дефініції, можна сказати, що тлумачення поняття smart-міста різняться, але в своїй основі вони уособлюють подібні розуміння – території з урахуванням високого рівня життя, гарного стану навколишнього середовища та високих темпів економічного розвитку. Здебільшого трактування даної концепції «розумного міста» включають використання цифрових технологій для удосконалення ефективності е-послуг та інтеграцію ІКТ та сенсорних рішень IoT для управління міськими активами і процесами. Необхідно додати, що дана концепція має різні варіації для впровадження у розвиток міста.

Розглянувши основні суміжні концепції та фундаментальні поняття «розумного міста», перейдемо до обговорення концепції «Smart-city» з точки

[1] Організація економічного співробітництва та розвитку, — міжнародна організація, що об'єднує 37 країн світу, більшість з яких є країнами з високим ВВП.

[2] Cisco Systems, Inc. — американська транснаціональна корпорація, яка є найбільшим у світі виробником мережевого обладнання, призначеного для обслуговування мереж віддаленого доступу, сервісів безпеки, мереж зберігання даних, маршрутизації та комутації.

зору соціального, культурного та економічного феномену у складі динамічної агломерації.

З огляду на широкий спектр досліджень, присвячених розумним містам та розробці стратегій їхнього розвитку в Україні, варто відзначити, що роботи українських авторів здебільшого акцентуються на основних критеріях і принципах таких міст, що йдуть у руслі світових тенденцій. О. Л. Єршова та Л.І. Бажан зазначають, що побудова «розумних (цифрових)» міст в Україні залежить від багатьох факторів, серед яких важливу роль відіграє розвиток міських інформаційних мереж. «Розумне» місто автори визначають як інтеграцію інформаційних та інформаційно-комунікаційних технологій, Інтернету й Інтернету речей для управління міським господарством, включаючи міські інформаційні системи, системи управління транспортом, енергосистемами, міськими службами та іншими громадськими службами [8, с. 69]. Зважаючи на це, основна мета створення та функціонування розумного міста полягає у підвищенні його конкурентоспроможності, впровадженні ефективної системи управління та забезпеченні безпечного і комфортного середовища для життя його мешканців. Цікавим є твердження О. В. Тур, яка розглядає трактування «розумного» міста у розрізі сталого розвитку, акцентуючи увагу на тому, що чинники, які формують кожний зі складників «розумного» міста, передбачають збалансоване поєднання економічних, соціальних та екологічних чинників, а також спрямовані на задоволення потреб та досягнення гідного способу життя не лише для сучасного, а й для прийдешніх поколінь [9, с. 287].

З іншої точки зору, великий акцент приділяється інноваціям та сталому розвитку у дослідженнях стратегій «розумного» міста (Smart-city) міжнародними організаціями та провідними закордонними фахівцями. Так, фахівці McKinsey Global Institute[3] визначають «розумне» місто як високоінтелектуальне інтегроване місто, яке характеризується поєднанням

[3] Міжнародна компанія, що працює у сфері менеджмент-консалтингу та спеціалізується на вирішенні завдань, пов'язаних зі стратегічним управлінням.

технологій, що стимулюють розвиток інтеграції соціального середовища і підприємництва [10]. Необхідно додати, що одним з істотних складників концепції «розумного міста» виступає становлення моделей «розумного» управління. У контексті розумних міст «розумне» управління є ключовим питанням. «Розумне» управління означає, що різні зацікавлені сторони беруть участь у прийнятті рішень та державних послугах, а ІКТ виступають тим елементом, що забезпечує їх взаємодію [11].

Для того, щоб точніше розкрити модель «Розумного міста» як чинника соціального, культурного та економічного розвитку, необхідно розглянути «місто» з точки зору складної, економічної динамічної агломерації.

Цифрове місто будучи складною та динамічною системою, уособлює в собі ефект агломерації з погляду простору та ресурсів, при цьому гарантуючи створення знань та обміну технологіями. Прикладом цього є модель розвитку «розумного» міста пропонована Європейським економічним і соціальним комітетом. Дана модель пропонується як частина програм, які включають співіснування та одночасну інтеграцію шести спроможних складників (рис. 1.1.).

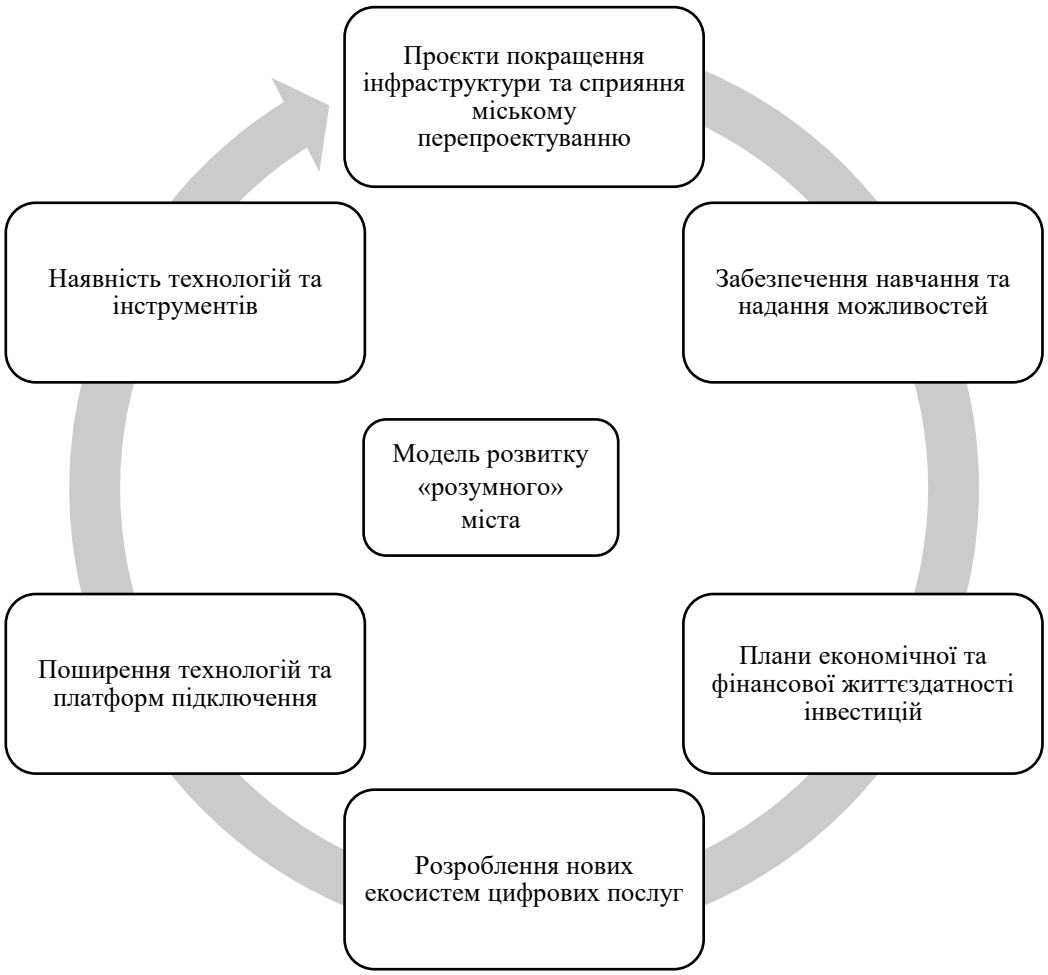


Рис. 1.1. Модель розвитку «розумного» міста Європейського економічного і соціального комітету [12]

Першим складником даної моделі розвитку цифрового міста є проекти покращення інфраструктури та сприяння міському перепроектуванню, до його складу входить модернізація інфраструктури певних районів міст, реконструкція та переобладнання громадських будівель.

Наступний складник це забезпечення навчання та надання можливостей приватним особам, підприємствам та державному сектору покращити свої цифрові навички.

Плани економічної та фінансової життєздатності інвестицій є третім складником даної моделі, який характеризується на чіткому визначенні: віддачі від послуг, модернізації інфраструктури та кроків, вжитих для підвищення ефективності.

Четвертою складовою частиною є розроблення нових екосистем цифрових послуг, що передбачає створення нових цифрових сервісів та додатків для покращення якості життя, роботи, а також процесів виробництва та бізнесу.

Наступною фракцією є поширення технологічних платформ і підключення для створення нових систем цифрових послуг, які дають змогу створювати більше нових систем е-послуг за допомогою ІКТ та телекомунікаційної інфраструктури.

Останнім елементом моделі є технології та інструменти для енергоефективності та інтеграції відновлюваних джерел.

Співіснування цих шести стовпів слід вважати стандартним і неодмінним компонентом стратегічного проекту розумного міста. Не менш важливо, щоб ця модель застосовувалася в контексті політики, яка забезпечує найвищі стандарти безпеки мережі, ІТ-систем, програм і пристроїв, які складають основу екосистем цифрових послуг [12].

Варто зазначити, що висока щільність населення та географічна близькість у межах міста також створили відчуття агломерації. Окрім цього, активні та численні взаємодії в міському середовищі сприяли розвитку творчого потенціалу й стимулювали різноманітний та інноваційний прогрес. Міста перетворилися на рушійні сили соціального й економічного зростання, а також стали осередком формування креативного класу.

Необхідно додати, що в основі нинішнього міського розвитку лежать стійкість, зв'язковість, мобільність, прозорість, доступність, інклюзивність, різноманітність та меритократія, які посилюють та захищають каталітичну роль міст як соціально-економічних факторів (табл. 1.1.3.). Вимірювання соціальної інституційної структури фокусується на питаннях, пов'язаних з людьми, тоді як техніко-економічна динаміка наголошує на розвитку економіки знань. Щоб пов'язати традиційну функціональну конфігурацію міста з інноваційною екосистемою, аналізуються та обговорюються внутрішні чинники розвитку «розумних» міст та досвід будівництва проектів, пов'язаних

із розумним (цифровим) містом, після чого розкриваються рушійні фактори будівництва оновленого міста. Розумне місто відноситься до використання сучасних технологій, особливо інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ), для управління містом та забезпечення його жителів ефективними та зручними послугами [13].

Таблиця 1.1.3.

Критерії та характеристика цифрового міста

Критерій	Характеристика цифрового міста
Зв'язність	Цифрове місто має міцну інфраструктуру для забезпечення доступу до інтернету в місцях загального користування та у приватних домівках. Це включає в себе широкосмуговий інтернет, бездротовий доступ і високошвидкісні мережі.
Сенсори та IoT	Місто обладнане сенсорами і пристроями "Інтернет речей" (IoT), які збирають дані з навколишнього середовища, такі як рівень забруднення повітря, рух транспорту, температура, вологість та інші параметри.
Аналітика даних	Цифрове місто використовує аналітичні інструменти для обробки та аналізу великих обсягів даних, зібраних з сенсорів і різних джерел, щоб приймати рішення та оптимізувати роботу міста.
Електронні послуги	Місто надає жителям доступ до електронних послуг через мобільні додатки та веб-платформи, щоб забезпечити легкий доступ до інформації та адміністративних послуг.
Інновації та розвиток	Цифрове місто сприяє інноваціям та розвитку нових технологій, щоб покращити якість життя населення.
Мобільність	Цифрове місто працює над розвитком та покращенням громадського транспорту, розвитком мереж електричних автомобілів, розумними паркувальними системами та іншими ініціативами для полегшення руху в місті.
Участь громади	Цифрове місто сприяє участі громади у прийнятті рішень через онлайн-голосування, платформи для обговорення та інші інструменти.
Ефективне управління	Місто використовує системи автоматизації для управління ресурсами, такими як енергія, водопостачання, відходи та інші, з метою ефективного використання ресурсів.
Екологія	Один з аспектів цифрового міста - це збереження довкілля, і міста можуть використовувати технології для зменшення викидів в атмосферу, управління водними ресурсами і зберігання природних ландшафтів.
Безпека	Забезпечення кібербезпеки та фізичної безпеки - важливий аспект цифрового міста. Це включає в себе системи відеоспостереження, системи аварійного попередження та заходи з протидії кіберзлочинності.

Таблиця 1.1.3. (складено автором)

Проаналізувавши таблицю, виходить, що розумне місто сприяє розвитку економічних, політичних, екологічних, транспортних, логістичних, інституціональних та духовних засад його розвитку.

Велику увагу слід приділити сучасним науковим дослідженням в області цифрових технологій, які дедалі частіше розглядаються не лише як інструмент підвищення ефективності управління, а як системний чинник сталого розвитку. Зокрема, у працях В. Г. Воронкової, Н. Г. Метеленко, В. О. Нікітенко, М. А. Ажажі та О. М. Венгер обґрунтовано, що цифрові технології відіграють ключову роль у трансформації екологічного менеджменту, забезпеченні екологічної безпеки та формуванні зеленої економіки в умовах глобальних викликів. Автори наголошують, що використання цифрових платформ, систем моніторингу, аналітики великих даних і технологій Інтернету речей дозволяє підвищити прозорість управлінських рішень, ефективність використання природних ресурсів та екологічну стійкість територій [14]. Зазначений підхід є важливим для формування концепції розумного міста, оскільки інтеграція цифрових технологій в екологічну політику міського управління створює передумови для досягнення балансу між економічним розвитком, соціальними потребами населення та збереженням довкілля.

Сьогодні перед органами місцевого самоврядування та державними установами, в умовах глобальних змін у міському просторі, постають ключові завдання. Їхньою суттю є адаптація і модернізація концепції smart-city з урахуванням локальних потреб і доступних ресурсів. Це спрямовано на створення інноваційного та комфортного середовища для життя міських мешканців. Задля досягнення цієї мети необхідно здійснити аналіз основних компонентів розумного міста:

1) системи управління транспортом; використання даних і сенсорів для оптимізації руху транспорту, зменшення заторів і покращення громадського транспорту.

2) ефективне використання енергії: моніторинг і керування споживанням електроенергії, використанням альтернативних джерел енергії та зменшенням викидів.

3) е-услуги та цифрова освіта, в основі якої когнітивна модель освіти, керована штучним інтелектом, виробленням підходів до аналізу смарт-освіти, надання доступу до громадських послуг і освітніх ресурсів через Інтернет;

4) електронне управління містом, в основі якої розробка платформ для взаємодії між мешканцями та органами місцевого самоврядування, щоб полегшити вирішення проблем і надавати послуги;

5) електронне управління на рівні міста, що надає адміністративні послуги населенню;

6) це розумні будинки і будівлі, використання інтернету речей для автоматизації та зменшення споживання енергії в будинках та офісах;

7) кібербезпека і захист: забезпечення захисту важливих даних і систем від кіберзагроз, що важливо в умовах кібератак та кіберзагроз;

8) використання сенсорів та розумних контейнерів для оптимізації збору та обробки сміття та упровадження сміттєзбиральних систем;

9) використання сенсорів для визначення рівня забруднення повітря та водойм навколо міста, моніторинг якості повітря та води; розвиток зеленого агровиробництва, екологічно чистої продукції [1,3].

Таким чином, «розумні міста», як форма сталого розвитку міст, набувають нового тренду розвитку як можливість забезпечити якість життя та вирішити ключові питання енергоефективності та екологічності міських поселень.

1.2 Технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data)

У сучасних умовах цифрової трансформації міського середовища технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) відіграють ключову роль у побудові інноваційних, ефективних та стійких моделей управління містом. Інтенсивний розвиток сенсорних систем, бездротових мереж зв’язку та хмарних платформ зробив можливим створення розподілених інтелектуальних екосистем, здатних забезпечувати

безперервний моніторинг міської інфраструктури, генерувати значні обсяги даних та використовувати аналітичні алгоритми для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Враховуючи праці багатьох вчених як українських, так і закордонних, поєднуючи глобальні тенденції та практики провідних smart-міст, інтеграція IoT та Big Data є фундаментом для створення сучасних цифрових платформ міського управління, здатних забезпечити ефективну взаємодію між мешканцями, бізнесом та органами влади. Саме тому аналіз цих технологій є фундаментальним етапом дослідження у даній дипломній роботі.

Перед тим як перейти до практичного застосування технологій Інтернету речей та Великих даних у побудові міської інфраструктури, необхідно дослідити дані технології як новітній технологічний феномен.

Інтернет речей (IoT) – це технологічна концепція, яка передбачає створення мережі взаємопов'язаних об'єктів, здатних збирати, передавати та обмінюватися даними без участі людини [15, с.1463]. В даній статті автори визначають ключову роль IoT у забезпеченні інтелектуальної взаємодії між пристроями та інформаційними системами, що є основою для побудови смарт-міст та цифрової інфраструктури майбутнього. Більш розширено про поняття «Інтернет речей» можна побачити у статті Самойленко М.Ю., де автор наголошує, що Інтернет речей можна визначити як інформаційно-технологічну концепцію побудови інформаційних і комунікаційних інфраструктур на основі обчислювальної мережі, яка з'єднує речі (фізичні об'єкти), оснащені інформаційними технологіями для здійснення комунікаційного обміну один з одним і глобальною інформаційно-комунікаційною інфраструктурою або безпосередньо, або через інтегровані з ними інші пристрої, які мають адресу протоколу Інтернет (IP) без участі людини з метою збору, передачі, накопичення та обробки інформації [16, с. 144].

Архітектура Інтернету речей (IoT) складається з чотирьох основних функціональних рівнів (див. рис.1.2). Найнижчий рівень, який є рівнем сенсорів і сенсорних пристроїв, включає об'єкти, оснащені датчиками. Ці

пристрої виконують завдання збору та обробки даних у реальному часі. Другий рівень — рівень шлюзів і мереж — представлений конвергентною мережевою інфраструктурою, яка утворюється шляхом інтеграції різноманітних мереж у спільну платформу. На третьому, сервісному рівні, зосереджено набір послуг для автоматизації технологічних і господарських процесів. Завершує структуру четвертий рівень, який охоплює різноманітні додатки, адаптовані до потреб окремих галузей та сфер діяльності [17].



Рис. 1.2. Архітектура Інтернету речей (IoT). Джерело: складено автором на основі [17]

Інтернет речей охоплює різноманітні технології і методи, тому в сучасних зарубіжних наукових дослідженнях існує кілька підходів до класифікації IoT-систем. Найпоширенішою є типологія, що враховує масштаб, галузь застосування та функціональне призначення пристроїв (див. табл. 1.2.1).

Дослідивши праці зарубіжних вчених щодо класифікації IoT-систем ми можемо побачити, що сучасні рішення Інтернету речей є багаторівневими і суттєво відрізняються за масштабом, сферою використання та функціональними завданнями. Класифікація за масштабом дозволяє

визначити архітектуру мережевої інфраструктури та вимоги до обробки даних: локальні системи орієнтовані на низьку затримку та просту типологію, тоді як глобальні — на масштабованість і централізоване управління.

Таблиця 1.2.1.

Класифікація IoT-систем

Класифікаційні ознаки	Види IoT-системи	Опис
За масштабом та територіальним охопленням	Personal IoT (PIoT)	невеликі мережі пристроїв, орієнтовані на одного користувача (наприклад, носимі пристрої, розумний дім)
	Group / Enterprise IoT	внутрішні мережі організацій чи підприємств (офісні системи, виробничі підсистеми невеликого масштабу)
	Community / Regional IoT	локальні мережі, що покривають міський район або громаду (локальні сенсорні мережі для екології або освітлення
	Global / Internet-scale IoT	розподілені системи з глобальним охопленням (сервіси постачальників, великі платформні рішення).
За галуззю застосування	Industrial IoT (IIoT)	промислові системи автоматизації, SCADA-інтеграції;
	Medical / Healthcare IoT (MIoT / eHealth)	медичні сенсори, телемедицина
	Consumer IoT	побутові пристрої, «розумний дім»
	Transport/Smart Mobility IoT	системи для транспорту і логістики;
	Environmental IoT	моніторинг довкілля (якість повітря, вода, шум)
За функціональним призначенням	Monitoring / Sensing	вимірювання фізичних величин і передача показань (телеметрія).
	Control / Actuation	приймають команди і впливають на фізичні об’єкти (відкриття клапана, регулювання двигуна).
	Processing / Analytics	фокус на локальній (edge) або хмарній аналітиці, ML-процесах, прогнозуванні. Може включати streaming-аналітику й пошук аномалій.

	Security / Identity	реалізують аутентифікацію пристроїв, шифрування, управління ризиками.
	Гібридні системи	поєднують кілька функцій (збір + локальна обробка + управління).

Таблиця 1.2.1. Джерело: систематизовано на основі [18-20].

Галузева класифікація демонструє розмаїття прикладних сценаріїв IoT: від промислових систем до побутових і медичних пристроїв. Кожна галузь висуває власні вимоги до безпеки, надійності та стандартизації, що визначає вибір технологій та методологій розроблення. Класифікація за функціональним призначенням показує внутрішню структуру IoT-систем і дозволяє виділити ключові компоненти: сенсори, засоби управління, модулі зв'язку, аналітичні платформи та системи безпеки. Саме цей підхід забезпечує розуміння того, як функціонують IoT-компоненти у взаємозв'язку, формуючи цілісні кіберфізичні системи.

Таким чином, запропонована класифікація дає змогу комплексно охарактеризувати IoT-системи, визначити їх особливості та вимоги.

Необхідно звернути увагу, що важливого значення набувають протоколи та стандарти, які визначають механізми обміну даними між пристроями IoT. Вони сприяють їх сумісності та забезпечують дотримання вимог безпеки та управління. Далі представлено огляд ключових протоколів і відповідних стандартів, які використовуються в IoT-проєктах (табл. 1.2.2).

Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновки, що IoT-системи можуть базуватись на дуже різних технологіях комунікації — від класичних бездротових до IP‑мереж, до LPWAN‑рішень, а також до протоколів передачі даних на рівні «пристрої ↔ хмара». Вибір технології залежить від сценарію використання — для домашніх/локальних мереж підходять Bluetooth, Thread, Wi‑Fi; для низькошвидкісних сенсорних мереж з низьким енергоспоживанням — LoRaWAN або Sigfox; для великих мереж з підключенням до хмари — MQTT / CoAP. Протоколи як 6LoWPAN, MQTT‑SN, CoAP розроблені з урахуванням обмежень пристроїв IoT (енергія, пропускна здатність, пам'ять).

Це критично для сенсорів, датчиків, приладів з живленням від батарей — тобто для типових IoT‑застосувань.

Таблиця 1.2.2.

Протоколи і стандарти IoT

Розділ	Протокол / стандарт / технологія	Характеристики
Бездротові персональні мережі (WPAN, не IP)	IEEE 802.15.4	Базовий стандарт для WPAN; основа для сенсорних мереж IoT.
	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Для комунікації на короткі відстані між пристроями; підходить для побутових та персональних IoT‑рішень.
	Z-Wave	Ще один стандарт для локальних бездротових мереж/пристроїв IoT.
WPAN/WLAN на основі IP	6LoWPAN	Дозволяє використовувати IP‑мережі для мереж з обмеженим ресурсом; для сенсорів/вбудованих пристроїв.
	Thread	Протокол для побудови IP‑мереж серед пристроїв IoT; підходить для домашніх або локальних мереж.
Протоколи дальнього / LPWAN‑зв’язку	LoRaWAN / LoRa	Для дальнього, енергоефективного зв’язку пристроїв із малим трафіком — підходить для сенсорних мереж, міських/сільських IoT‑сценаріїв.
	Sigfox	Ще один протокол/технологія для низькошвидкісного, енергоощадного далекого зв’язку IoT-пристроїв.
Прикладні / комунікаційні протоколи (з пристроїв → хмара / сервер)	MQTT	Легка, ефективна схема публікації/підписки для передачі даних з IoT‑пристроїв у хмару або сервери; часто використовується в реальних IoT‑системах.
	MQTT‑SN	Варіант MQTT для sensor / node, пристроїв з обмеженими ресурсами; оптимізований для IoT‑мереж.
	CoAP	«Обмежений прикладний протокол» для пристроїв з обмеженими ресурсами, альтернативний HTTP — підходить для сенсорів IoT.

Таблиця 1.2.2. Джерело: систематизовано автором на основі [21, с. 67-142].

Немало важливою складовою цифрової трансформації та функціонування «розумних» міст є технології Великих даних (Big Data), які в свою чергу дозволяють інтегрувати, зберігати, обробляти та генерувати великі обсяги інформації в реальному часі. Завдяки цьому технології Big Data сприяють автоматизації міських процесів, підвищують ефективність інфраструктури та покращують якість життя громадян.

У своїй статті Шкирта І.М. та Лазар В.Ф. визначають Big Data як набір методів та засобів опрацювання структурованих і неструктурованих різнотипних динамічних даних великих обсягів з метою їх аналізу та використання для
підтримки прийняття рішень [22, с. 52]. Інші вчені такі як Юрчук Н.П. та Кіпоренко С.С. висловлюють думку, що Big Data це технологічна концепція, що дозволяє працювати з масивами інформації, які характеризуються значним обсягом, швидкістю обробки та різнорідністю даних [23]. Автори підкреслюють, що Big Data — ключовий компонент цифрової трансформації, що дає змогу використовувати інформацію як ресурс для управління, прогнозування, прийняття рішень та оптимізації процесів.

Опрацювання матеріалу як зарубіжних вчених, так і вітчизняних, дало змогу визначити характерні особливості технології Big Data. До них відноситься опрацювання різнотипної інформації з різних джерел інформації: структурованих, частково структурованих та неструктурованих [22, с. 52; 24, с. 11]. Структуровані дані мають подібні формати та попередньо визначену довжину і генеруються або користувачами, або автоматичними генераторами даних, включаючи комп'ютери або датчики, без взаємодії з користувачем. У джерелі [24, с. 11] підкреслюється, що структуровані дані можуть оброблятися за допомогою мов запитів, таких як SQL. Неструктуровані дані, на відміну від структурованих даних, позбавлені визначеної структури, що, тим самим, ускладнює побудову їх моделі. До неструктурованої інформації належать

текстові файли різноманітних документів, електронні листи, sms-повідомлення, відео-кліпи, цифрові зображення, аудіофайли та ін. [22,с.52]. Напівструктуровані дані мають часткову структуру: вони не вписуються в класичну реляційну модель, проте містять теги, метадані або логічні маркери, що дають змогу визначати зв'язки між елементами даних. До таких належать JSON, XML, лог-файли серверів, повідомлення IoT-пристроїв тощо [24, с.11]. Важливими характеристиками великих даних, окрім їхнього фізичного обсягу, є також інші аспекти, що акцентують увагу на складності завдань, пов'язаних з їхньою обробкою та аналізом (модель 5V) [22, с. 52]:

- Volume (обсяг даних) - обсяги інформації ростуть надзвичайно швидко.
- Velocity (швидкість надходження) - необхідність високошвидкісної обробки й одержання результатів.
- Variety (різноманітність) – можливості одночасної обробки різних типів структурованих і частково структурованих даних.
- Veracity (достовірність) - економічний ефект, який технологія забезпечує користувачам.
- Value (цінність даних) - якості зібраних даних, що можуть значно відрізнятися.

З розвитком Big Data-технологій модель 5 V доповнюють ще двома «V» [23, с. 64]:

- Variability — змінність (мінливість даних).
- Visualization — візуалізація (важливість їх належної візуалізації).

Таким чином, Big Data — це багатовимірна концепція, що забезпечує гнучку та масштабовану аналітику.

У своїй роботі Юрчук Н.П. та Кіпоренко С.С. наголошують, що робота з Великими даними (Big Data) базується на таких принципах [23, с. 64]:

- Горизонтальна масштабованість. Це — базовий принцип обробки великих даних. Як вже було зазначено, великих даних з кожним днем стає все більше. Відповідно, необхідно збільшувати кількість обчислювальних вузлів,

за якими розподіляються ці дані, при чому обробка має відбуватись без погіршення продуктивності.

- Відмовостійкість. Цей принцип витікає з попереднього. Оскільки обчислювальних вузлів у кластері може бути багато (іноді десятки тисяч) та їх кількість, не виключено, буде збільшуватись, зростає ймовірність виходу машин з ладу. Методи роботи з великими даними мають враховувати ймовірність таких ситуацій і передбачати превентивні заходи.
- Локальність даних. Оскільки дані розподілені по великій кількості обчислювальних вузлів, то, якщо вони фізично знаходяться на одному сервері, а обробляються на іншому, витрати на передачу даних можуть бути невиправдано великими. Тому обробку даних бажано проводити на тій же машині, на якій вони зберігаються.

Необхідно звернути увагу, що для збору і обробки Великих Даних використовуються різні технології [22, с. 54]:

- Масова паралельна обробка (MPP);
- MapReduce – обчислювальна парадигма, запропонована компанією Google;
- Обробка складних подій – обробка інформації у режимі онлайн з різних джерел; обробка даних залежить від часу;
- Hadoop – проект компанії Apache Software
- Foundation, що реалізує парадигму MapReduce;
- RDBMS (Relational Database Management System) – система для керування базами даних, що базується на реляційній моделі;
- Cassandra – альтернатива для Hadoop HDFS, база даних, виконана як NoSQL;
- Hive – файлове сховище, автором якого є компанія Facebook;
- NoSQL – системи керування базами даних на основі цієї парадигми, що зовсім різняться від системи керування реляційними базами даних, оскільки не використовують мову запитів SQL.

Таким чином, доведено, що технології Великих даних (Big Data) є фундаментальною технологією цифрової трансформації, оскільки забезпечує можливість глибокого, швидкого та масштабованого аналізу інформації. Упровадження даної технології створює підґрунтя для інновацій, ефективності автоматизації, прогнозування та розвитку сучасних smart-рішень.

1.3 Взаємодія IoT та Big Data у міському середовищі

Великі дані (Big Data) та Інтернет речей (Internet of Things (IoT)) є двома ключовими напрямками, які активно прогресують та набувають популярності в різних сферах, включаючи промисловість, охорону здоров'я, транспорт, науку та багато інших. Ці технології дозволяють збирати значні обсяги даних з різноманітних джерел та використовувати їх для різноманітних цілей, включаючи прогнозування поведінки, вдосконалення процесів та прийняття рішень. Для досягнення максимального потенціалу цих технологій необхідно розуміти, як їх поєднувати [25, с. 15].

Розглянувши у попередньому підрозділі, що являють собою технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data), їхні особливості, класифікації та принципи роботи можна сформулювати наступне: «Взаємодія IoT-мереж та Big Data-платформ перетворює місто на кіберфізичну систему, у якій життєдіяльність міста постійно відстежується і аналізується, а управлінські дії можуть виконуватися автоматично, адаптивно та в реальному часі. Це створює інноваційні можливості для підвищення якості життя, екологічної безпеки, оптимізації ресурсів, підвищення прозорості влади та ефективності роботи комунальних служб».

Для того, щоб краще зрозуміти як саме поєднуються технології IoT і Big Data в моделі «розумного» міста, необхідно розглянути конкретні напрямки використання як IoT-технологій, так і технологій Big Data у контексті smart-city.

Сучасні підходи в рамках концепції «розумного міста» активно впроваджують технології Інтернету речей (IoT) для моніторингу, автоматизації та оптимізації міських процесів. У дослідженні Самойленка зазначається, що IoT-пристрої — такі як сенсори, датчики, камери та інтелектуальні модулі — забезпечують збір і передачу даних у реальному часі, створюючи основу для аналітичних сервісів у системах smart-city [16, с. 142]. Нижче подано систематизовані сфери застосування IoT у міському середовищі:

1. Моніторинг стану будівель. Міський IoT може надати розподілену базу даних вимірювань цілісності конструкції будівлі, зібрану відповідними датчиками, розташованими в будівлях, такими як датчик вібрації і деформації, датчики контролю рівня забруднення, а також датчики температури і вологості повітря, для отримання повної характеристики умов навколишнього середовища.

2. Управління відходами. Застосування IoT технологій у цій галузі може призвести до економічних і екологічних переваг. Для реалізації служби управління відходами на базі IoT потрібно підключення «розумних сміттєвих контейнерів» до центру управління колекторно-вантажного автопарку (GPS-трекери сміттєвозів).

3. Контроль якості повітря. Міський IoT може забезпечити контроль якості повітря в місцях роботи і відпочинку людей, а також у парках або на трасах. Реалізація такої послуги вимагає, щоб по всьому місту були встановлені датчики вимірювання якості повітря з доступністю результатів вимірювань для громадськості, наприклад на карті міста через відповідну програму.

4. Моніторинг шуму. Шум можна розглядати як форму акустичного забруднення. IoT може запропонувати послугу моніторингу шуму для вимірювання кількості шуму. Крім побудови просторово-часової карти шумового забруднення в цьому районі, така служба може також використовуватися для забезпечення громадської безпеки, наприклад, шуми,

які виникають при дорожньо-транспортних пригодах або конфліктних зіткненнях.

5. Перевантаження автотранспорту. Незважаючи на те, що системи моніторингу трафіку на основі камер вже доступні і розгорнуті в багатьох містах, рішення на базі IoT дозволять забезпечити більш щільний потік джерел інформації. Моніторинг дорожнього руху може бути реалізований за допомогою сенсорів і GPS, встановлених на сучасних автомобілях.

6. Міське енергоспоживання. Міський IoT може надати послугу для моніторингу енергоспоживання всього міста, що дозволяє міській владі отримати повне уявлення про кількість енергії, необхідної для різних послуг (освітлення вулиць, транспорту, камер управління, обігріву / охолодження громадських будівель).

7. Розумне паркування. Послуга інтелектуального паркування заснована на дорожніх датчиках і інтелектуальних дисплеях, які направляють автомобілістів по кращій дорозі для парування в місті. Переваги, одержані від цієї послуги, різні: більш швидке визначення місця для паркування означає зменшення обсягу викидів вуглекислого газу від автомобіля, меншу завантаженість доріг і більше щасливих громадян. Послуга інтелектуального паркування може бути безпосередньо інтегрована в міську інфраструктуру IoT.

8. Розумне освітлення. Оптимізація ефективності вуличного освітлення є важливим завданням. Зокрема, цей сервіс може оптимізувати інтенсивність освітлення вуличного ліхтаря залежно від часу доби, погодних умов і присутності людей. Для реалізації такого сервісу необхідно включити вуличні ліхтарі в інфраструктуру «розумного міста».

9. Моніторинг параметрів навколишнього середовища. Іншим важливим застосуванням технологій IoT є моніторинг параметрів навколишнього середовища у громадських будівлях (школах, музеях, офісах та інших установах) за допомогою різних типів датчиків і виконавчих механізмів, які керують освітленням, температурою і вологістю повітря.

Контролюючи ці параметри, можна підвищити рівень комфорту людей [16, с. 145-146].

Проаналізовані матеріали демонструють широкий спектр практичних можливостей IoT-технологій у міському середовищі – від інженерного моніторингу та екології до транспорту, енергетики і управління міськими сервісами.

Аналітика великих даних у смарт-містах надає численні переваги, починаючи з підвищення ефективності й закінчуючи сприянням сталому розвитку та підвищенням якості життя жителів. Нижче наведено детальніший огляд того, чому великі дані мають критичне значення для функціонування розумних міст:

1. Інтеграція даних. Аналітика великих даних допомагає в безперебійній інтеграції даних з широкого спектру джерел, включаючи пристрої Інтернету речей, датчики, соціальні мережі тощо. Ця інтеграція створює єдине уявлення про роботу міста, дозволяючи міським керівникам отримати доступ до вичерпного набору даних, що охоплює все: від транспорту та енергетики до охорони здоров'я та громадської безпеки.

2. Інформація в режимі реального часу. У динамічному міському середовищі дані в режимі реального часу мають неоціненне значення. Аналітичні інструменти Big Data обробляють великі масиви даних у режимі потоку, що дозволяє оперативно реагувати на критичні ситуації (наприклад, затори, аварійні ситуації, надзвичайні події).

3. Прийняття рішень на основі даних. Аналітика великих даних дозволяє місцевому уряду планувати та ухвалювати рішення на основі числових трендів, мінімізуючи суб’єктивні ризики та оптимізуючи ефективний розподіл ресурсів.

4. Прогнозна аналітика. великі дані дають змогу проводити прогнозну аналітику, завдяки якій міста можуть передбачати тенденції та потенційні проблеми, перш ніж вони загостряться та вжити заходи на випередження.

5. Оптимізація ресурсів. аналізуючи дані про використання ресурсів, такі як споживання води та електроенергії, міста можуть оптимізувати розподіл ресурсів та зменшити обсяги відходів. Це не тільки призводить до економії коштів, але й сприяє екологічній стійкості.

6. Планування інфраструктури. Аналітика великих даних допомагає містобудівникам приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку інфраструктури. Аналізуючи тенденції зростання населення та структури транспортних потоків, міста можуть планувати будівництво нових доріг, систем громадського транспорту та інших інфраструктурних проектів, що відповідають поточним і майбутнім потребам.

7. Поліпшення якості життя. Інформація, отримана в результаті аналізу великих даних, безпосередньо впливає на якість життя мешканців. Наприклад, системи громадського транспорту, що базуються на даних, скорочують час у дорозі та зменшують затори, а моніторинг якості повітря в режимі реального часу покращує здоров'я населення.

8. Економічний розвиток. Великі дані можуть бути каталізатором економічного зростання. Аналізуючи економічні дані, міста можуть виявляти нові галузі, залучати нові підприємства та створювати робочі місця, сприяючи розвитку динамічної міської економіки.

9. Залучення громадськості. Великі дані можуть використовуватися для підвищення залученості громадян та прозорості. Коли мешканці мають доступ до інформації про діяльність міста в режимі реального часу, вони можуть брати активну участь у процесах прийняття рішень, висловлювати свої занепокоєння та сприяти розвитку своїх громад.

10. Ініціативи з питань сталого розвитку. Великі дані відіграють ключову роль у зусиллях із забезпечення сталого розвитку. Міста можуть відстежувати та скорочувати викиди вуглецю, оптимізувати споживання енергії та реалізовувати проекти з розвитку зеленої інфраструктури, які приносять користь навколишньому середовищу та майбутнім поколінням [26].

З проведеного аналізу стає зрозуміло, що технології Big Data забезпечують інтеграцію, обробку й аналітику великих обсягів даних, отриманих від IoT-систем та інших джерел, для побудови ефективних сервісів міського управління.

Проаналізувавши яким чином технології інтернету речей та Великих даних використовуються для покращення міського середовища, можна зробити висновок, що IoT у межах smart-міста фокусується на безпосередньому зборі, моніторингу та передачі даних з реального світу (інфраструктура, екологія, транспорт, енергетика, безпека). Big Data у свою чергу – це аналітична обробка та використання цих даних для управлінських рішень, прогнозування, інтеграції великих масивів інформації та підтримки стратегічного планування міського розвитку.

Надалі перейдемо до розгляду як взаємодіють технології Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) між собою (Інтеграція IoT–Big Data).

Як зазначають автори Іванов Д.Є., Алексеєнко В.В., Ярмоленко Т.А. у своїй статті, інтеграція технологій Інтернету речей із технологіями Великих даних розкриває ще більший потенціал у сфері розумних середовищ. Завдяки зростанню обсягу та різноманітності даних, які створюють пристрої IoT, великі дані можуть бути ефективно застосовані для отримання важливих висновків у цих додатках. Наприклад, поєднання великих даних та IoT сприяє вдосконаленню систем розумного середовища, оптимізації транспортних мереж, раціональному управлінню водними ресурсами та реалізації рішень в інших ключових аспектах розумного середовища [25, с. 20]. Головні переваги такого поєднання подані на рисунку 1.3.

Таким чином, дослідження взаємодії IoT та Big Data має ключове значення для розуміння того, як сучасні технології сприяють підвищенню якості міського життя, раціональному використанню ресурсів, покращенню екологічної ситуації та забезпеченню сталого розвитку



Рис. 1.3. Основні переваги Big Data та IoT у сфері розумного середовища [25].

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи було здійснено комплексний аналіз теоретико-методологічних засад формування моделі розумного міста в умовах цифрової трансформації. Дослідження показало, що концепція smart-city є результатом поєднання глобальних процесів урбанізації, цифровізації та сталого розвитку, а її впровадження спрямоване на підвищення якості життя населення, ефективності міського управління та раціонального використання ресурсів. У роботі доведено, що «розумне місто» не є виключно технологічним феноменом, а виступає складною соціальною технічною системою, в якій поєднуються інноваційні технології, інституційні механізми та участь громадян.

У процесі дослідження було проаналізовано різні концептуальні підходи до трактування поняття «розумне місто», зокрема такі моделі, як цифрове, інноваційне, зелене, кабельне та мудре місто. Установлено, що зазначені концепції не є взаємовиключними, а можуть застосовуватися комплексно залежно від стратегічних цілей та ресурсних можливостей міста. Це підтверджує гнучкість smart-city-підходу та можливість його адаптації до локальних умов розвитку.

Окрему увагу у розділі приділено дослідженню технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) як ключових інструментів цифрової трансформації міського середовища. Визначено, що IoT забезпечує безперервний збір, моніторинг та передачу даних із фізичних об’єктів міської інфраструктури за допомогою сенсорів, датчиків та інтелектуальних пристроїв. Проведена класифікація IoT-систем за масштабом, галуззю застосування та функціональним призначенням дозволила систематизувати підходи до їх використання в міському середовищі.

У ході аналізу також встановлено, що технології Big Data є логічним продовженням розвитку IoT, оскільки саме вони забезпечують інтеграцію, зберігання та аналітичну обробку великих обсягів різнорідних даних, що надходять у режимі реального часу. У роботі розкрито ключові характеристики Big Data, сучасні інструменти їх обробки та принципи функціонування, що дозволяють здійснювати прогнозування, підтримку управлінських рішень та стратегічне планування розвитку міста.

Важливим результатом розділу стало дослідження взаємодії технологій IoT та Big Data у міському середовищі. Доведено, що їх інтеграція перетворює місто на кіберфізичну систему, у якій управління процесами здійснюється на основі даних у реальному часі. Проаналізовані практичні напрямки застосування IoT у smart-city, зокрема моніторинг стану будівель, управління відходами, контроль якості повітря, транспортних потоків, енергоспоживання, розумне освітлення та паркування, свідчать про значний потенціал цих технологій для підвищення ефективності міських сервісів.

Узагальнюючи результати розділу, можна стверджувати, що технології Інтернету речей та Великих даних є фундаментальними складовими сучасної моделі розумного міста. Їх поєднання створює основу для переходу від традиційного управління до data-driven governance, забезпечує сталий розвиток, підвищує прозорість діяльності органів влади та сприяє формуванню комфортного й безпечного міського середовища. Отримані теоретичні висновки формують наукове підґрунтя для подальшого аналізу практичних аспектів упровадження IoT та Big Data у містах, зокрема в Україні та місті Запоріжжя, що буде розглянуто в наступних розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2
ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ IOT ТА BIG DATA В МОДЕЛІ РОЗУМНОГО МІСТА

2.1 Зарубіжний досвід впровадження IoT та Big Data у Smart City

У країнах, що розвиваються, через стрімкий процес урбанізації міста гостро потребують побудови відповідного рівня міської інфраструктури. Задоволення потреб у розумному будівництві інфраструктури дає можливість містам досягти технологічного прогресу. Такі міста, як Барселона, Лондон, Дубай і Сінгапур, мають передові технології, і швидкість їх впровадження є швидшою, ніж у країнах Північної Америки та Західної Європи. Вони зайняли лідируючі позиції серед глобальних міст у розвитку цифрових технологій.

Успішна реалізація концепції «розумного міста» у багатьох країнах світу ґрунтується на ефективному застосуванні технологій Інтернету речей (IoT) та аналізу великих даних (Big Data). Ці інструменти дозволяють міським адміністраціям автоматизувати управлінські процеси, зменшувати енергоспоживання, покращувати екологічну ситуацію, забезпечувати ефективний громадський транспорт та підвищувати рівень безпеки населення. Вивчення зарубіжного досвіду є важливим етапом для формування практичного підходу до цифрової трансформації українських міст, адже дозволяє врахувати перевірені стратегії, уникнути поширених помилок і знайти оптимальні моделі впровадження. У цьому підрозділі розглянуто приклади використання технологій IoT та Big Data у таких містах, як Сінгапур, Барселона, Торонто, Дубай та Таллінн.

На сьогоднішній день існує багато прикладів впровадження концепції «smart-city». Уряд Сінгапуру активно підтримує цифрову трансформацію

країни через ініціативи, спрямовані на розвиток штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT) і смарт-міст. Програма «Smart Nation» є однією з найбільш прогресивних у світі [27]. Уряд розробив та запустив масштабну ініціативу «Розумна нація» (Smart Nation 1.0) у 2014 році, щоб допомогти Сінгапуру подолати хвилю змін та використовувати цифрові технології для трансформації таких сфер, як охорона здоров'я, транспорт, освіта, фінанси, інфраструктура та навколишнє середовище.

Для розширення впровадження цифрових технологій було запущено стратегічні національні проекти [28]:

- цифровий уряд (розробка безперебійних, персоналізованих та інклюзивних послуг);
- цифрове суспільство (покращення доступу до цифрових технологій, цифрової грамотності та цифрового впровадження);
- цифрова економіка (розвиток цифрової економіки та позиціонування Сінгапуру як глобального центру інновацій шляхом створення нових робочих місць та підтримки програм цифровізації для промислового бізнесу);
- цифрова безпека (посилення кібербезпеки, щоб забезпечити безпеку зростаючої кількості послуг та транзакцій, що здійснюються онлайн).

В 2019 році уряд модернізував наявну програму на «Smart Nation 2.0», метою якої було підвищити якість життя, стимулювати економіку та розвивати інновації [29]. Надалі розглянемо ключові моменти програми «Smart Nation 2.0» [30]:

- Чітка стратегічна візія: «Trust – Growth – Community»
  - Smart Nation 2.0 спирається на три основні цінності — довіра, зростання і громаду. Це допомагає формувати цифрові сервіси орієнтованими саме на потреби громадян і бізнесу, адаптуючись до змін у технологіях та викликів часу;
- Кібербезпека та інклюзивність

- Trust — це надійні цифрові інфраструктури, законодавство (наприклад, Digital Infrastructure Act) для захисту даних та фінансових операцій;
- Розвиток цифрової грамотності через ініціативу Digital for Life, що сприяє виключності всіх верств населення;

- Економічне зростання і цифрова трансформація
  - Growth — створення цифрової економіки: складні дата-центри, фінтех sandbox, підтримка стартапів і AI-ініціатив (наприклад, AI for Science);
  - Завдяки Smart Nation внесок у ВВП досяг 17,7% у 2023 році, із 99 % державних послуг онлайн;
- Формування спільноти через залучення громадян
  - Community — проєкти SCOPE, Tech Kaki, CrowdTaskSG, STACK conferences і хакатони залучають людей до co‑creation рішень;
  - Digital for Life контролює баланс між онлайн-активністю та соціальною складовою;
- Цифрові платформи й інтероперабельність
  - Платформи: SingPass (національна цифрова ID), Data.gov.sg (open data), Smart Nation Sensor Platform (SNSP) — інтеграція сенсорів у міську інфраструктуру;
  - Єдиний digital stack, включно з Blueprint для цифрового уряду, підтримує стандартизацію та інтеграцію;
- Централізоване управління та співпраця з сектором
  - Координація Smart Nation групою при PMO (SNDGG: SNDGO + GovTech), що дозволяє швидко впроваджувати політику у співпраці з бізнесом і громадськістю;
  - Regulatory sandbox від MAS допомагає інноваціям у фінтех секторах;
- Акцент на AI та аналітику даних

- Національна AI-стратегія (NAIS 2.0): зв’язок AI з проблемами громадського здоров’я і клімату, розвиток AI потенціалу;
- AI для науки, цифрова інфраструктура підтримує аналіз даних зі Smart City сенсорів.

Таблиця 2.1.1

Аналіз ключових моментів програми «Smart Nation 2.0»

Аспект	Роль у Smart City
Візія (Trust, Growth, Community)	Визначають стратегічний напрям і забезпечують сталість концепції
Безпека та інклюзивність	Забезпечують прийняття цифрових сервісів населенням
Інфраструктура та AI	Дає змогу масштабно автоматизувати й оптимізувати життя міста
Громадська участь	Забезпечує користувацький підхід і актуальність рішень
Централізована модель управління	Прискорює впровадження та інтеграцію ініціатив
Regulatory sandbox	Стимулює інновації без шкоди для безпеки

Таблиця 2.1.1 Джерело: складено автором на основі [29, 30]

Барселона стала одним із провідних розумних міст світу, використовуючи технологію Інтернету речей (IoT) для покращення якості життя своїх мешканців. Ось кілька прикладів проектів Барселони в галузі розумного міста IoT [31]:

1. Розумне освітлення: Барселона впровадила систему розумного освітлення, яка використовує датчики для виявлення присутності людей та транспортних засобів. Це дозволяє місту регулювати рівень освітлення та економити енергію, коли вулиці порожні. Система зменшила споживання енергії на 30% та заощадила місту понад 36 мільйонів євро.

2. Розумне зрошення: Барселона встановила у своїх парках та садах розумну систему зрошення, яка використовує дані про погоду та датчики ґрунту для оптимізації графіків поливу. Система зменшила споживання води на 25% та заощадила місту понад 550 000 євро.

3. Розумне управління відходами: Барселона впровадила розумну систему управління відходами, яка використовує датчики для контролю рівня заповнення сміттєвих баків та оптимізації маршрутів збору відходів. Це зменшило кількість сміттєвозів на дорогах на 20% та зменшило викиди вуглецю, пов'язані зі збором відходів.

4. Розумне паркування: Барселона запустила систему розумного паркування, яка використовує датчики для виявлення доступних паркувальних місць та надає інформацію водіям у режимі реального часу. Це зменшило затори на дорогах та полегшило мешканцям пошук паркувальних місць.

5. Розумний туризм: Барселона розробила програму розумного туризму, яка використовує технологію Інтернету речей, щоб надавати відвідувачам інформацію в режимі реального часу та персоналізовані рекомендації. Це включає мобільний додаток, який надає інформацію про визначні пам'ятки, події та транспорт.

Проаналізувавши досвід Барселони про впровадження технологій Інтернету речей (IoT) можна зробити такі висновки про важливість ключових аспектів при розробці моделі «розумного міста» див. таблицю 2.1.2.

Таблиця 2.1.2.

Аналіз ключових аспектів впровадження технологій IoT у Барселоні

Аспект	Роль у Smart City
Енергоефективність та екологічна сталість (розумне освітлення)	Розумне освітлення демонструє, як сенсори і алгоритми можуть забезпечити сталий розвиток без втрати комфорту.
Ефективне управління ресурсами (розумне зрошення)	Раціональне використання природних ресурсів є критично важливим у контексті кліматичних змін. Такий підхід дозволяє уникнути перевитрат води та підтримувати здорове міське середовище.
Зменшення навантаження на міську інфраструктуру	Важливий елемент для зниження транспортного навантаження, скорочення витрат на пальне та підвищення екологічної ефективності.

(розумне управління відходами)	
Зручність для мешканців та боротьба із заторами (розумне паркування)	Система паркування покращує мобільність у місті та зменшує дорожнє навантаження, що є особливо актуальним для густонаселених центрів.
Підвищення туристичної привабливості (розумний туризм)	Розумні сервіси роблять місто більш відкритим і дружнім до туристів, а також допомагають рівномірно розподіляти потоки людей, що зменшує перевантаження популярних зон.

Таблиця 2.1.2. Джерело: складено автором на основі [31]

Зусилля Барселони щодо розвитку Інтернету речей у секторі розумних міст демонструють прихильність міста до інновацій та сталого розвитку. Ці зусилля не тільки покращують якість життя мешканців, але й роблять Барселону світовим лідером у сфері технологій розумного міста.

Торонто, найбільше місто Канади, є одним із провідних прикладів застосування технологій Інтернету речей (IoT) і аналітики великих даних (Big Data) в міському управлінні та активно розвиває концепцію розумних міст. Давайте розглянемо ключові ініціативи міста для ефективного використання цифрових рішень у різних сферах міського планування.

1. Розумний кампус TMU (Toronto Metropolitan University).

   a. На кампусі встановлено сенсори (HVAC, лічильники, Wi‑Fi вузли), що генерують понад 500 000 записів на день (≈150 млн на рік).

   b. Дані інтегровані в єдину платформу, що забезпечує моніторинг енергоефективності та операційну аналітику корисної інфраструктури.

   c. Виконано консолідацію, інтеграцію формату даних і автоматизацію обробки задач, які раніше проводили вручну [32].

2. Транспортні дані і аналітика міської логістики

   a. Transportation Data & Analytics Unit (створена 2019 року) об'єднала команди збору даних, data science та операцій для проектів: Vision Zero, мульти-модальний транспорт, тощо.

   b. Вона веде проєкти MOVE та ActiveTO, а також аналітику впливу TNC‑сектору (Uber), велосипедного інфраструктурного моделювання,

Priority коридорів — усе в відкритому доступі через GitHub та Open Data Portal [33].

3. Громадські платформи та open data

a. Toronto Open Data: портал відкритих даних з політикою прозорості, участі, підзвітності, доступності [34].

4. Quayside / Sidewalk Toronto – масштабна smart-ініціатива

a. Пропонована забудова waterfront включала сенсори для моніторингу трафіку, повітря, енергії, відходів, якості публічного простору — створювала пілотний майданчик для інновацій.

b. Підхід “digital civic trust”: управління зібраними даними через незалежну структуру зобов'язань – щоб забезпечити прозорість, деімперсоналізацію, обмеження комерційного використання .

c. Проєкт був відмінений у 2020 році через економічні ризики (пандемія, спротив мешканців, побоювання приватної монополізації даних [35, с.303-304].

5. AI та IoT в регіоні Greater Toronto

a. Visual Defence City Rover у Ричмонд-Хіллі: AI-аналітика відео для виявлення ям на дорогах, формування робочих замовлень на ремонт — приклад цифрового управління інфраструктурою [36].

Таблиця 2.1.3.

Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data в Торонто

Аспект	Роль у Smart City
Моніторинг енергії та середовища (TMU)	Сприяє енергоефективності та сталому будівництву
Транспортний аналіз	Знижує затори, підвищує безпеку та мобільність
Відкриті дані	Забезпечують інновації, участь громадськості, довіру
Пілотні дослідження (Quayside)	моніторинг трафіку, повітря, енергії, відходів, якості публічного простору
AI та IoT в регіоні Greater Toronto	Автоматизація технічних процесів (виявлення та ремонт перешкод)

Таблиця 2.1.3. Джерело: складено автором на основі [32-36]

Ці випадки демонструють різноманітні підходи, від університетських експериментів до міського управління, демонструючи, як поєднання IoT і Big Data може допомогти оптимізувати ресурси, збільшити залучення громадськості та побудувати стійку інфраструктуру.

Дубай є одним із глобальних лідерів у впровадженні інноваційних технологій у сфері міського управління. З метою цифрової трансформації міста урядом ОАЕ було розроблено комплексну стратегію IoT (Internet of Things), яка спрямована на створення ефективної, безпечної, інтегрованої інфраструктури, що підтримує управління даними в режимі реального часу. Стратегія реалізується в межах глобальної ініціативи Smart Dubai. Надалі зазначимо основні аспекти стратегії IoT у Дубаї [37]:

1. Smart Dubai виокремило шість взаємопов’язаних доменів:
    a. Governance – прозоре та ефективне управління IoT-екосистемою;
    b. Management – стандартизація сенсорів, комунікацій та рішень;
    c. Deployment – масштабне розгортання датчиків;
    d. Acceleration – сприяння інноваціям;
    e. Monetisation – відкриття нових бізнес-моделей;
    f. Security – забезпечення кібербезпеки даних та пристроїв;
2. Єдині рамки безпечного обміну: PKI та цифрові сертифікати
    a. Введення в рамках IoT-стратегії PKI-інфраструктури та цифрових сертифікатів гарантує захист даних і довіру користувачів до мережі IoT.
3. Стратегія охоплює такі фази:
    a. Coordination – координація між департаментами;
    b. Integration – уніфікація IoT-систем;
    c. Optimisation – оптимізація процесів;
    d. Blockchain Journey – використання блокчейну для довідок і довіри у крайній фазі;

4. управління натовпом (Dubai Crowd)

a. проєкт використовує IoT для моніторингу великих даних у реальному часі, з інтеграцією кількох департаментів (RTA, поліція, охорона здоров'я) і надає аналітику для своєчасного реагування.

5. Зв'язок із платформою Dubai Pulse

a. IoT-пристрої підключаються до загальної платформи Dubai Pulse — центральної бази даних Smart City.

Далі розглянемо найголовніші аспекти впровадження технологій Великих даних (Big Data) в Дубаї [38]:

1. Оптимізація транспорту та мобільності

a. RTA (дорожньо-транспортна влада) використовує сенсори, камери й Big Data для управління трафіком: прогнозування заторів, оптимізація розкладу автобусів та метро, адаптивне керування сигналами світлофорів. Це робить пересування ефективнішим і екологічнішим.

2. Підтримка екологічної стійкості й енергоменеджменту. DEWA (департамент води і електрики) використовує аналітику, щоб:

a. виявляти пікові навантаження та оптимізувати розподіл енергії;

b. інтегрувати ВДЕ (відновлювану енергетику);

c. виявляти витоки води й запобігати втратам ресурсів.

d. Також Big Data допомагає проводити превентивне обслуговування інфраструктури, забезпечуючи високу надійність ліфтових і вентиляторних систем.

3. Медичні прогнози та управління пандеміями. DHA (Дубайське управління охорони здоров'я) використовує Big Data для:

a. виявлення спалахів інфекцій;

b. оптимального розподілу медичних ресурсів;

c. індивідуалізованого лікування.

d. Під час COVID‑19 аналітика допомогла відстежувати динаміку інфікування й перерозподіляти ресурси системи охорони здоров'я.

4. Урбаністичне планування та прогнозування розвитку допомагає
   a. прогнозувати попит на житлову нерухомість;
   b. виявляти зони з ризиком повеней або трафіку;
   c. визначати ефективні локації для 3D-друку будівель.
5. Безпека і превенція злочинів. Дубайська поліція використовує Big Data і аналітику для:
   a. виявлення «гарячих точок» злочинності;
   b. застосування технології розпізнання облич для розшуку людей тощо.

Таблиця 2.1.4.

Аналіз основних аспектів стратегії IoT та Big Data в Дубаї

Аспекти	Роль у Smart city
6 доменів стратегії	Комплексність: охоплює управління, розгортання, новаторство
PKI та цифрові сертифікати	Гарантує довіру користувачів до екосистеми
Етапна реалізація	Мінімізація ризиків і структуроване впровадження
Dubai Crowd	Випробування IoT у сфері безпеки та мобільності
Інтеграція з Dubai Pulse	Централізоване управління даними для стійкості
RTA (дорожньо-транспортна влада)	впливає на економічну продуктивність та комфорт громадян
DEWA (департамент води і електрики)	Ефективне управління енергоспоживанням сприяє сталому розвитку й зниженню витрат.
DHA (Дубайське управління охорони здоров'я)	Швидке виявлення ризиків і ефективне реагування можуть врятувати життя.
Урбаністичне планування	Планування на основі реальних даних знижує ризики і підвищує ефективність інвестицій
Безпека	Залучення технологій у сферу безпеки допомагає попереджати правопорушення ще до їх здійснення.

Таблиця 2.1.4. Джерело: складено автором на основі [37-38]

З проведеного аналізу можна зробити висновок що актуальні Big Data-ініціативи в Дубаї — це не просто окремі проєкти, а інтегрована екосистема,

що перетворює всю міську інфраструктуру: транспорт, енергетику, здоров'я, планування і безпеку. Саме такі інструменти даної екосистеми визначають ефективну модель «розумного міста»: вона буде адаптивною, безпечною, стійкою та орієнтованою на потреби громадян.

Таллінн, столиця Естонії, відомий своїм потужним біг-тех-екосистемою («e-Estonia») і лідерським підходом до інтеграції цифрових технологій у міське середовище. Особливість міста полягає у поєднанні IoT та Big Data для екологічного моніторингу, мобільності, урбаністичного планування та електронного управління. Розглянемо деякі аспекти впровадження технологій IoT та Big Data в Таллінні:

1. Система IoT‑сенсорів для моніторингу шуму та мобільності
    a. Встановлено понад 800 автономних, стійких до погодних умов сенсорів, які вимірюють рівень шуму й руху транспорту в режимі реального часу.
    b. Інтеграція даних в міське управління, що дозволяє аналізувати тренди, прогнозувати ситуації та ухвалювати рішення для підвищення екологічного комфорту.
2. Інфраструктура IoT — стійкі автономні сенсорні вузли
    a. Автономна робота сенсорів оснащених сонячними панелями та акумуляторами, без необхідності прокладання проводів [39].
3. Зелена стратегія та партнерство з ЄС
    a. Підтримка кліматозахисних підходів через цифровий моніторинг (стеження за водою, повітрям, шумом);
    b. Інформаційно-цифрова підтримка ком'юніті (GoGreenRoutes, садівництво в місті)
4. Співпраця з науковими установами (TalTech)
    a. залучене до R&D-проектів зі Smart City Lab TalTech
    b. моніторинг внутрішнього клімату будівель, формування 3D-моделей міських просторів, спільні проєкти з Гельсінкі в рамках Finest Twins, спрямовані на оптимізацію мобільності й енергоефективності [40].

Таблиця 2.1.5

Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у місті Таллінн

Аспекти	Роль у Smart city
Широкомасштабний екологічний моніторинг	створює основу для оперативного реагування та підтримки здоров'я мешканців
Автономні сенсори	знижують експлуатаційні витрати і дозволяють масштабувати систему
Пріоритет зеленого розвитку	дає змогу поєднувати технології та екологічні цілі, підвищуючи громадський резонанс
Наукові партнери	прискорюють інновації та тестування рішень

Таблиця 2.1.5. Джерело: складено автором на основі [39-40].

Загалом досвід Таллінна показує, що навіть невелика, але добре продумана інфраструктура Інтернету речей, інтегрована з аналітичними системами, може сприяти стійкій, комфортній та інноваційній міській екосистемі. Такий підхід може бути дуже корисним для українських міст, які прагнуть розвивати «розумну» інфраструктуру на основі реальних потреб.

2.2 Приклади реалізації технологій IoT та Big Data в Україні

Концепція розумних міст активно популяризується в усьому світі з початку 21 століття, а в Україні вона також привертає все більшу увагу протягом останніх п'яти років. Органи місцевого самоврядування в українських містах поступово впроваджують інноваційні рішення, засновані на технологіях Інтернету речей (IoT) та аналізі Великих даних (Big Data). На жаль, концепція розумних міст в Україні ще не отримала необхідної підтримки на національному рівні, а її заходи все ще впроваджуються в окремих містах, а результати помітні лише на обмежених територіях і знаходяться лише на «точковій» стадії. Тим не менш, процес модернізації інфраструктури в Україні відбувається із певними викликами — як фінансовими, так і організаційними — приклади окремих міст демонструють помітні результати у сфері міського управління, транспорту, енергетики та екологічного моніторингу.

У цьому підрозділі розглядаються реальні кейси з Києва, Львова, Вінниці та інших міст, що свідчать про наявність потенціалу для масштабного розвитку Smart City-підходів в Україні.

Київ розпочав розбудову smart-інфраструктури ще у 2015р. Столиця стала платформою для впровадження пілотних проєктів у сфері «розумного міста», багато з яких базуються на технологіях Інтернету речей (IoT) та великих даних (Big Data). Стратегія розвитку Kyiv Smart City орієнтована на прозорість управління, ефективність міських сервісів і комфорт громадян.

Розглянемо більш детально концепцію розвитку Kyiv Smart City та як дана стратегія пов’язана з технологіями інтернету речей (IoT) та великими даними (Big Data):

1. Інтеграція громадськості, бізнесу та влади
    a. співпраця між містянами, бізнес-структурами, активістами та міською владою
2. Промислова та міська інфраструктура
    a. інфраструктура «розумного міста», що інтегрує IoT-сенсори (освітлення, дорожні станції, екологічні датчики) і Big Data-аналітику для покращення послуг, скорочення витрат та екології міських процесів.
3. Єдиний цифровий простір
    a. передбачає створення уніфікованої технологічної платформи, де дані з IoT-систем збираються у єдине сховище.
    b. дозволяє проводити аналітику в режимі реального часу та ухвалювати змістовні рішення з енергоефективності, транспорту, екології та безпеки.
4. Електронний квиток й транспортна аналітика
    a. використання Big Data у Києві – система Kyiv Smart Card — електронного квитка, який дозволяє здійснювати поїздки в метро, трамваях, тролейбусах і автобусах.

b. дані з валідаторів та систем GPS-трекінгу використовуються для аналітики пасажиропотоків, коригування графіків руху та підвищення ефективності транспортної мережі.

5. Орієнтація на суспільного користувача

a. акцентує на взаємодії з громадянами: від зручних месенджерів до участі у плануванні – забезпечується прозорість, доступ до даних та цифрових сервісів, що базуються на IoT та Big Data [41].

6. Екологічний моніторинг та відкриті дані

a. запуск мережі громадського моніторингу якості повітря EcoCity (встановлення IoT-сенсорів якості повітря в різних районах столиці).

b. data.kyivcity.gov.ua містить десятки відкритих наборів даних, включаючи транспорт, екологію, демографію, які активно використовуються в аналітиці та розробці міських сервісів [42].

Таблиця 2.2.1.

Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у Києві

Аспекти	Роль у Smart city
Колаборація всіх сторін	Забезпечує розробку реальних, ефективних IoT-рішень з урахуванням потреб мешканців та бізнесу.
Багатосферева інфраструктура	Сенсори працюють в системі – збір даних по всім важливим галузям дозволяє комплексну аналітику.
Цифрова платформа	Єдиний потік даних — швидкий доступ, масштабна аналітика, можливості автоматизації.
Е-квиток та транспорт	Використання Kyiv Smart Card та GPS-трекінгу для зручного пересування містом
Суспільний користувач	Підтримує довіру до технологій, забезпечує популяризацію ідей Smart City.
Екологічний моніторинг	Моніторинг якості повітря в різних районах міста

Таблиця 2.2.1. джерело: складено автором на основі [41-42].

Досвід Києва демонструє потенціал IoT та Big Data у багатьох міських районах, включаючи транспорт, інфраструктуру, екологію. Незважаючи на те, що впровадження таких систем стикається з багатьма проблемами включаючи

фінансування та конфіденційність, Київ впевнено просувається до справді цифрової міської екосистеми.

Львів поступово впроваджує рішення у сфері «розумного міста», застосовуючи технології IoT та Big Data для покращення муніципальних послуг та ефективного управління містом.

Розглянемо декілька прикладів реалізації технологій IoT та Big Data в моделі Smart-city.

1. Ініціатива «Lviv Smart City» та Центр моніторингу інфраструктури
    a. У межах проєкту Interreg Lviv Smart City передбачається запуск Центру моніторингу міської інфраструктури — збудованої на основі IoT-технологій системи, що дозволяє контролювати аварії, стан мереж, забруднення, дорожній рух та громадську безпеку.
    b. У Львові встановлено близько 2000 аналітичних камер під егідою програми «Safe City of Lviv (2022–2026)» [43].
2. Проєкт Smart City: Big Data у міському аналізі
    a. В рамках 5-денної Smart City-ініціативи, організованої Львівською бізнес-школою УКУ, учасники з 11 міст України зібрали й опрацювали значні обсяги даних, щоб розв'язувати мережеві та міські проблеми. Використання підходу Big Data допомогло оптимізувати внутрішню взаємодію департаментів та ідентифікувати потенціал економії 20–50 % ресурсів міста [44].
3. Платформа uMuni: зменшення витрат комунальних підприємств
    a. Стартап uMuni, запущений у Львові, наживо відслідковує споживання енергії, газу та води в муніципальних будівлях.
    b. влада може моментально реагувати на витоки або аномалії, що вже зекономило місту до 30 млн грн. Технологія спирається на IoT-сенсори та хмарну обробку даних Big Data [45].
4. IT-кластер: сенсори для паркінгу

a. Проєкт Parking Cloud: встановлення 20 сучасних IoT-сенсорів у паркінговій зоні Львова. Ці сенсори в реальному часі визначають заповнюваність місць і передають дані у відповідний додаток [46].

Таблиця 2.2.2.

Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data у Львові

Аспект	Роль у Smart city
Інфраструктурний моніторинг	Забезпечує швидке виявлення аварій, аномалій, і створює основу для аналітики великих даних
Аналітика оперативності	Змога формувати базу для ухвалення рішень для покращення всього міста
Економічний ефект	Моніторинг споживання та збереження енергії, газу, води, які оснащенні попереджувальною системою
Аналітика паркування	Сенсори забезпечують дані для оптимізації транспортної інфраструктури і планування

Таблиця 2.2.2. Джерело: складено автором на основі [43-46].

Реалізовані у Львові приклади демонструють практичне застосування IoT та Big Data у моніторингу, безпеці та оптимізації ресурсів. Впровадження цих рішень у модель «розумного» міста може підвищити ефективність, зменшити витрати та покращити якість життя мешканців.

Одеса, велике портове місто на узбережжі Чорного моря, демонструє зацікавленість у цифровій трансформації, орієнтуючись на розвиток концепції «розумного міста» для поліпшення управління інфраструктурою, логістикою та комунальними сервісами.

Розглянемо декілька прикладів використання IoT та Big Data в місті Одеса.

1. Цифровий двійник міста – ключовий проєкт

a. Одеська міська рада спільно з Vodafone презентували концепцію цифрового двійника Одеси у жовтні 2019 року. Це віртуальна копія міської інфраструктури з даними в реальному часі — геоаналітика, енергопотреби, транспорт, ЖКГ, міграційні потоки, екологія тощо

b. В основі платформи — рішення Vodafone NB‑IoT й глобальний досвід (Лондон, Мюнхен, Лісабон). Завдяки IoT-зв’язку надходять десятки й сотні параметрів для аналітики великих даних .

c. Digital Twin дозволяє моделям передбачати наслідки управлінських рішень, оптимізувати комунальні системи та підвищувати інвестиційну привабливість [47].

2. Інтелектуальна транспортна мережа

a. У дослідженні МГУ імені Мечникова запропоновано гібридну IoT-архітектуру для моніторингу трафіку: сенсори на дорозі + Azure Cloud + AI-алгоритми, що регулюють світлофори за трафіком в реальному часі.

b. Система демонструє економію часу, зниження заторів та збільшення пропускної спроможності — приклад ефективної інтеграції IoT з Big Data і AI у комунальному середовищі [48].

3. Аналітика ресурсів і ЖКГ

a. Компанія SEA впроваджує рішення для розумного обліку води та дистанційного контролю комунальних мереж в Одесі за допомогою NB-IoT і протоколу M-Bus.

b. Зібрані дані передаються в хмару, де аналізуються для оптимізації витрат, виявлення втрат і планування ремонтів — класичний підхід IoT+Big Data для ЖКГ [49].

Таблиця 2.2.3

Аналіз ключових моментів використання IoT та Big Data в Одесі

Аспекти	Роль у Smart city
Digital Twin	Дає змогу моделювати сценарії, прогнозувати навантаження, моментально реагувати на аварії та оптимізувати системи.
IoT-транспорт	Підвищує швидкість руху, запобігає заторам, економить час та ресурси.
ЖКГ-аналітика	Забезпечує ефективний облік і контроль, знижує витрати та екологічне навантаження.

Таблиця 2.2.3. Джерело: складено автором на основі [47-49].

Ці приклади демонструють, як Одеса використовує IoT-платформи та аналітику великих даних для модернізації міської інфраструктури, підвищення ефективності енергоспоживання і безпеки.

2.3 Впровадження IoT та Big Data в місті Запоріжжя

Запоріжжя, як одне з ключових індустріальних міст України, активно розвиває напрямки цифрової трансформації в межах реалізації стратегії Smart City. З огляду на потребу підвищення ефективності міської інфраструктури, зменшення екологічного навантаження та покращення якості життя мешканців, місто розпочало впровадження технологій Інтернету речей (IoT) та великих даних (Big Data). Завдяки співпраці з мобільними операторами, науковими установами та громадськими організаціями, в Запоріжжі впроваджуються інноваційні рішення у сферах громадського транспорту, безпеки, цифрових сервісів і цифрової освіти. У цьому підрозділі розглядаються приклади деяких з наявних ініціатив та їх значення для подальшого розвитку міста в умовах цифрової трансформації.

1. Аналіз пасажиропотоку на основі Big Data від мобільних операторів. В рамках співпраці з мобільними операторами (Vodafone, Київстар, lifecell) у Запорізькій області реалізується проєкт аналізу пасажиропотоку. За допомогою Big Data операційні дані про місцезнаходження абонентів дозволяють міській владі:
   a. Виявляти реальні маршрути транспорту;
   b. Відео- та GPS-моніторинг у громадському транспорті
   c. Оптимізувати маршрутні мережі;
   d. Планувати час курсування та частоту руху транспорту.
2. Система сповіщення населення у надзвичайних ситуаціях. У межах тієї ж ініціативи планується запровадження системи SMS-оповіщення населення на основі Big Data. Технології дозволяють:
   a. Ідентифікувати групи ризику;

b. Масово сповіщувати саме тих, хто перебуває в зоні загрози;

c. Отримати зворотний зв'язок і контролювати реакцію населення [50].

3. Навчальні програми з підвищення цифрової грамотності. Громадські ініціативи (наприклад, ГО "Запорізька бібліотечна асоціація" за підтримки ПРООН та ЄС) реалізують проект «Розумні громадяни вивчають Smart City». Мета :

a. Розширити цифрову інклюзію серед літніх людей через курси із користування IoT-додатками;

b. Забезпечити доступ до гаджетів;

c. Підвищити рівень використання Smart City‑сервісів [51].

4. Розробка та оптимізація електронних сервісів. Науковці та IT-фахівці Запорізької політехніки разом із місцевою владою працюють над:

a. Розширенням списку електронних послуг (користувачі можуть оформлювати петиції, подавати заявки, оплатити комунальні послуги онлайн);

b. Використанням IoT-сенсорів та Big Data для моніторингу стану води, повітря та енергоспоживання;

c. Впровадженням інфраструктури для централізованої обробки та аналізу даних [52].

Необхідно додати, що у рамках стратегії Smart city Запоріжжя за підтримки IFC розгорнута технологія LoRaWAN — бездротова мережа для підключення датчиків, що працюють на батареї. Сенсори передають дані про тиск у трубопроводах (тепло, вода), стан дорожнього покриття, а також інші параметри інфраструктури. Це сприяє своєчасному реагуванню на аварійні ситуації та підвищує ефективність комунальних сервісів. Також проєкт IFC націлений на встановлення інформаційних табло на зупинках транспорту, що демонструють прибуття інтервалів руху в режимі реального часу. Окрім цього місто отримало сучасні електробуси та автономні тролейбуси, оснащені датчиками, які збирають дані про трафік, заряди батарей і стан батарейної

системи — це дозволило формувати розумні алгоритми управління транспортом [53].

Таблиця 2.3.1.

Аналіз ключових аспектів використання технологій IoT та Big Data в Запоріжжі

Аспект	Роль у Smart city
пасажиропотік	Оптимізація маршрутів, підвищення зрозумілості для користувачів.
Система сповіщення	Чітка комунікація під час кризових ситуацій.
Цифрова грамотність	Включення всіх верств населення у Smart city-процеси
E-сервіси + IoT	Підвищення ефективності адміністративних процедур.
LoRaWAN інфраструктура	Можливість масштабного сенсорного покриття незалежно від електромережі.
Smart-транспорт і інформаційне табло	Покращують мобільність, управління трафіком, зменшують час очікування.

Таблиця 2.3.1. Джерело: складено автором на основі [50-53].

Таким чином завдяки партнерам (оператори, влада, громадські організації і університети) Запоріжжя з кожним кроком рухається в напрямку побудови інтелектуальної екосистеми. Розглянуті кейси та впроваджені рішення демонструють, що Запоріжжя не лише обговорює Smart City-ідеї, а й активно втілює їх за підтримки своїх партнерів, реалізовуючи практичне застосування IoT і Big Data для підвищення якості міських сервісів та розвитку цифрової громади.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було здійснено ґрунтовний аналіз практичної реалізації технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) у моделі розумного міста на прикладі зарубіжних країн, України загалом та міста Запоріжжя зокрема. Проведене дослідження дозволило виявити ключові тенденції, інструменти та організаційні підходи, що забезпечують ефективність цифрової трансформації міського середовища.

Аналіз зарубіжного досвіду впровадження IoT та Big Data показав, що провідні міста світу (Сінгапур, Барселона, Торонто, Дубай, Таллінн) реалізують концепцію smart-city системно, на основі довгострокових стратегій, централізованого управління даними та активної інтеграції цифрових технологій у всі сфери міського життя.

Досвід таких міст, як Барселона та Сінгапур, демонструє, що використання IoT-сенсорів у поєднанні з аналітикою великих даних дозволяє суттєво підвищити енергоефективність, оптимізувати використання водних і транспортних ресурсів, покращити екологічний моніторинг та зменшити витрати міського бюджету. У свою чергу, приклади Торонто й Дубаю підтверджують важливість відкритих даних, цифрових платформ та інтеграції штучного інтелекту з Big Data для прийняття управлінських рішень у режимі реального часу. Досвід Таллінна доводить, що навіть за обмежених ресурсів можливо створити ефективну smart-інфраструктуру за рахунок автономних IoT-рішень, партнерства з науковими установами та фокусу на сталому розвитку.

Дослідження практики впровадження IoT та Big Data в Україні засвідчило, що концепція «розумного міста» перебуває на стадії активного формування та реалізується переважно у вигляді локальних проєктів. Найбільш помітні результати спостерігаються у великих містах — Києві, Львові та Одесі, де технології IoT і Big Data використовуються у транспортній аналітиці, електронних сервісах, екологічному моніторингу, системах безпеки та управлінні комунальними ресурсами. Водночас встановлено, що відсутність єдиної національної стратегії Smart City, обмежене фінансування та недостатній рівень міжвідомчої координації стримують масштабування успішних ініціатив на загальнодержавному рівні.

Особливу увагу в розділі приділено аналізу впровадження технологій IoT та Big Data в місті Запоріжжя. Проведене дослідження показало, що місто, незважаючи на індустріальний характер та складну соціально-економічну ситуацію, робить послідовні кроки у напрямку цифрової трансформації.

Запровадження аналізу пасажиропотоків на основі Big Data, розвиток систем відео- та GPS-моніторингу транспорту, використання LoRaWAN-інфраструктури, електронних сервісів і програм підвищення цифрової грамотності населення свідчать про формування в Запоріжжі базових елементів smart-city-екосистеми. Важливим чинником успіху є партнерство міської влади з мобільними операторами, міжнародними організаціями, університетами та громадськими ініціативами.

Узагальнюючи результати другого розділу, можна зробити висновок, що практична реалізація технологій IoT та Big Data є ключовою умовою ефективного функціонування моделі розумного міста. Зарубіжний досвід підтверджує доцільність системного, поетапного впровадження цифрових рішень, тоді як українські кейси демонструють значний потенціал для розвитку за умови належної стратегічної підтримки. Запоріжжя має реальні передумови для подальшого розвитку smart-інфраструктури, що робить доцільним формування рекомендацій щодо масштабування наявних рішень та впровадження комплексної моделі «розумного міста», що буде розглянуто в наступних розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 3. ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ IOT ТА BIG DATA В УКРАЇНІ ТА МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ

3.1 Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в Україні

Оцінюючи досягнення в області smart-city зокрема в розвитку smart-інфраструктури у світі, слід зазначити, що наразі Україна суттєво відстає як за темпами впровадження інновацій, так і за їх якістю та складністю. Насправді жодне місто в Україні не наблизилося до життя в smart-city. Значна кількість українських міст прагнуть бути розумними, але швидкість і ефективність реалізації проектів розвитку смарт-інфраструктури в першу чергу залежить від

економічного потенціалу міста, бюджетної підтримки та громадської підтримки впровадження розумних рішень. Щоб досягти повсюдної цифровізації українських міст, потрібні значні зусилля, а також, головне, вміння зберегти досягнуті результати.

Наразі процес розбудови smart-інфраструктури в Україні більшою мірою виглядає як рекламна кампанія заради здобуття іміджу. Однією з найпоширеніших проблем повсюдної розбудови smart-міста, з якою стикаються місцеві органи влади, є різниця між початковою ідеєю та подальшою реалізацією. Те, що добре виглядає на папері, не обов'язково стане чимось життєздатним: безліч параметрів наявної фізичної інфраструктури, рівень людського капіталу, розвиток ринку smart-технологій, стан інституційного, законодавчого та фінансового забезпечення можуть вплинути на кінцевий результат та ефективність розбудови smart-інфраструктури [54, с.145].

Що стосується законодавчого забезпечення, то формально минулими роками в Україні існувало дві концепції з цифровізації: «Цифровий порядок денний – 2020» і «Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки». Проте країні потрібен не формальний опис пріоритетів, а «дорожня карта» у вигляді нормативно-правового документа, яким визначатимуться конкретні заходи та дії з термінами виконання [54, с.146].

Серед проблем, які не дають швидко реалізувати проекти з впровадження smart-інфраструктури в Україні:

- відсутність якісного та повсюдного доступу до мережі Інтернет;
- низький рівень поширення концепції «розумного» міста: «розумність» повинна розвиватися та поширюватися не лише на рівні місцевої влади та недержавного сектору, але й на рівні жителів – головних споживачів smart-рішень;
- відсутність чітких кількісних та якісних показників ефективності впровадження smart-інфраструктури;

- відсутність стандартизації (сертифікації) smart-обладнання та неможливість задовольнити відповідне технічне забезпечення проекту;
- невідповідність законодавства нинішньому соціально-економічному розвитку у сфері цифрових технологій;
- інертність державних і муніципальних структур;
- недостатній рівень фінансування (відсутність сприятливого інвестиційного клімату, що дозволив би залучити необхідні обсяги інвестицій, у тому числі іноземців);
- недостатність висококваліфікованих спеціалістів у сфері розвитку та впровадження цифрових технологій та інші [53, с.151-152].

Таким чином можна побачити, що в Україні достатньо високий потенціал реалізації концепції «Smart-city» поєднуючи технології Інтернету речей (IoT) та аналізу великих даних (Big Data) у процесі цифрової трансформації міських систем управління.

Спираючись на світовий досвід та існуючі ініціативи та проєкти з реалізації smart-інфраструктури в Україні сформовано наступні рекомендації:

1. Доцільно розробити національну програму цифрової трансформації міст з чітким фокусом на застосування IoT та Big Data, із врахуванням особливостей регіонів, рівня їх цифрової готовності та потреб громад.

2. Необхідно забезпечити стабільну та якісну роботу державних і муніципальних Open Data платформ, підтримувати розробку аналітичних інструментів, які дозволяють обробляти дані для прийняття рішень.

3. Варто інвестувати у будівництво IoT-шлюзів, сенсорних мереж, дата-центрів та серверних хмарних платформ, які здатні обробляти та зберігати великі обсяги даних.

4. Рекомендовано ухвалити нормативно-правові акти щодо захисту персональних даних та безпечного обміну інформацією, а також ввести обов’язкову сертифікацію IoT-пристроїв, які застосовуються у державному секторі.

5. Слід налагодити співпрацю між містами щодо використання спільних цифрових інструментів, обміну даними та технічними рішеннями, аби уникнути дублювання систем.

3.2 Виклики, перспективи та рекомендації впровадження технологій IoT та Big Data в місті Запоріжжя

В умовах повоєнного відновлення особливого значення набуває застосування підходів зеленої цифрової трансформації як інструменту сталого розвитку регіонів. Як зазначають В. Г. Воронкова, В. О. Нікітенко та Н. Г. Метеленко, цифрові технології можуть виступати основою для модернізації інфраструктури, підвищення екологічної безпеки та відновлення соціально-економічної стійкості територій [55]. У цьому контексті розумне місто розглядається не лише як технологічна модель, а як інструмент післявоєнної реконструкції, що поєднує цифрові рішення, екологічні стандарти та принципи сталого розвитку. Використання IoT-сенсорів, платформ великих даних та цифрових систем управління дозволяє підвищити ефективність планування відбудови, раціональне використання ресурсів і залучення громадськості до процесів прийняття рішень.

Запоріжжя, як одне з прифронтових міст України найбільше потребує проведення цифрової модернізації через впровадження smart-технологій та smart-рішень. Однак, для реалізації даної концепції необхідно вирішити ключові проблеми, які призупиняють розвиток міста у сфері smart-індустрії.

Розглянемо деякі з цих проблем, які заважають реалізації концепції «Smart-city», особливо технологій Інтернету речей (IoT) та великих даних (Big Data) в місті Запоріжжя:

- Фінансова обмеженість та нестача стабільного інвестування
    - Більшість smart-технологій вимагають значних початкових інвестицій: обладнання, дата-центри, обслуговування.

- Через воєнний стан та загальнодержавні бюджетні обмеження місто має обмежені можливості для реалізації масштабних цифрових проєктів.

- Відсутність єдиної інтегрованої цифрової платформи
  - Дані від різних міських служб зберігаються у несумісних системах, що ускладнює їх об’єднання та аналітику.
  - Не вистачає централізованого «Data hub» для збору, обробки та візуалізації міських даних.

- Недостатня кібербезпека та загроза зловживань
  - Відсутність чітких стандартів безпеки IoT-пристроїв робить їх потенційною ціллю для кібератак.
  - Не сформовано систему контролю за захистом персональних даних мешканців.

- Кадровий дефіцит у сфері аналітики, кібербезпеки та IoT
  - На місцевому рівні бракує фахівців, здатних проєктувати, обслуговувати й розвивати цифрову інфраструктуру.
  - Системні адміністратори, IT-фахівці, аналітики даних — критично важливі для стійкої роботи smart-сервісів.

- Фрагментованість нормативно-правової бази
  - В Україні відсутнє комплексне законодавче регулювання щодо впровадження Smart City-технологій, зокрема IoT та Big Data.
  - Визначення відповідальності, сертифікації, відкриття даних — усе це досі потребує систематизації.

- Вразливість інфраструктури через воєнні дії
  - Постійна загроза обстрілів і пошкодження інфраструктури ускладнює довгострокове планування та розгортання IoT-мереж.
  - Висока ризикованість для фізичних пристроїв: сенсорів, кабелів, серверів.

Ці виклики варто врахувати при формуванні стратегії впровадження Smart City у Запоріжжі. Водночас, їх подолання може створити унікальні передумови для запуску стійкої цифрової трансформації міста.

Надалі розглянемо рекомендації для кращої реалізації технологій IoT та Big Data в Запоріжжі.

1. Розширення смарт-сервісів для мешканців Запоріжжя. Наукові матеріали з розвитку електронних сервісів у Smart City підкреслюють, що розширення переліку електронних послуг, які спираються на IoT-дані та аналітику великих даних, сприяє:

   a. прискоренню управлінських рішень,
   b. економії бюджетних коштів,
   c. поліпшенню якості муніципальних послуг для мешканців.

Це стосується таких сфер як адміністративні та соціальні послуги, транспорт, житлово-комунальне господарство, екологічного моніторингу [52, с. 217].

2. Залучення бізнес-спільноти до впровадження IoT рішень. За даними місцевих ініціатив, тематичні заходи та зустрічі з підприємцями присвячують увагу технологіям IoT, хмарним рішенням та їх впливу на бізнес і місто. Це важливо для створення умов, де бізнес може стати активним учасником впровадження технологій Smart City (у тому числі як постачальник IoT-рішень або Big Data-аналітики) [56].

З авторської точки зору, щодо рекомендацій для впровадження технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) в Запоріжжі, необхідно:

1. Для забезпечення ефективного управління міською інфраструктурою доцільно створити інтегровану платформу, яка об’єднуватиме дані з комунальних, транспортних, екологічних та адміністративних систем.

2. Запоріжжю варто розширити використання сенсорних пристроїв у таких напрямах, як: енергоменеджмент та водопостачання, моніторинг якості

повітря та шумового фону, контроль сміття, безпека на вулицях (розумне відеоспостереження)

3. Місто має активно використовувати аналітичні системи для прогнозування навантаження на інфраструктуру, розробки нових транспортних маршрутів, оптимізації розміщення об’єктів соціального призначення.

4. Важливо підвищити цифрову грамотність працівників міської ради та служб, а також впровадити курси з основ цифрового управління, аналітики даних та роботи з IoT-системами.

5. Місто може активніше залучати міжнародні гранти, інвестиції, а також реалізовувати проєкти державно-приватного партнерства для впровадження smart-технологій.

6. Запровадити інструменти електронної демократії: мобільні додатки, онлайн-опитування, платформи участі, щоб мешканці могли контролювати міські процеси та пропонувати зміни.

7. Запоріжжя має потенціал стати регіональним лідером у впровадженні смарт-підходів до повоєнної відбудови. Рекомендується:

a. впроваджувати цифрове планування реконструкції з використанням геоінформаційних систем (GIS);

b. застосовувати енергоефективні рішення на основі IoT (розумні будинки, датчики витоків, оптимізація теплопостачання);

c. створити муніципальний цифровий реєстр зруйнованих/відновлених об’єктів для прозорості та публічної аналітики;

d. використовувати Big Data для відновлення критичних об’єктів: лікарень, шкіл, житлових кварталів;

e. координувати дії з державними органами через єдину електронну платформу відбудови.

Проаналізувавши деякі доробки міста Запоріжжя в області smart-інфраструктури, можна зробити такий висновок: Запоріжжя вже має деякі напрацювання в галузі цифровізації, однак для повної реалізації концепціях

Smart City потрібне стратегічне бачення, системне впровадження IoT- та Big Data-технологій, розвиток людського капіталу й прозоре залучення інвестицій. У повоєнний час місто здатне відігравати ключову роль у національній цифровій відбудові.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи проведено всебічний аналіз викликів, перспектив та шляхів вдосконалення впровадження технологій Інтернету речей (IoT) і Великих даних (Big Data) в умовах України загалом, а також у місті Запоріжжя зокрема. Результати дослідження свідчать, що, незважаючи на окремі успішні цифрові ініціативи, розвиток smart-інфраструктури в Україні залишається неоднорідним. Це значною мірою зумовлено економічними можливостями регіонів, інституційною спроможністю місцевих органів влади та рівнем доступу до інвестиційних ресурсів.

В Україні визначено основні виклики у впровадженні технологій IoT та Big Data. Серед них виділяються фінансові обмеження, недоліки нормативно-правового регулювання, брак кваліфікованих спеціалістів, низький рівень цифрової грамотності серед населення, а також проблеми з захистом даних і кібербезпекою.

У цьому розділі особливу увагу зосереджено на аналізі ситуації в Запоріжжі — прифронтовому індустріальному центрі, який опинився в умовах підвищених ризиків. Водночас місто демонструє значний потенціал для цифрової трансформації. Проаналізовано, що ключовими перепонами для впровадження IoT і Big Data в Запоріжжі є обмежене бюджетне фінансування, зношеність міської інфраструктури, підвищені вимоги до забезпечення безпеки даних, а також необхідність відбудови та модернізації міста у післявоєнний період. У роботі сформульовано практичні рекомендації щодо розвитку IoT-інфраструктури, впровадження аналітики великих даних у сфері транспорту, ЖКГ, екологічного моніторингу та публічного управління, а

також щодо використання концепції smart-відбудови як інструменту сталого розвитку міста.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують, що ефективне впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя потребує системного підходу, поєднання стратегічного планування, інвестиційної підтримки та орієнтації на дані як основу сучасного міського управління.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі здійснено комплексне дослідження проблематики розробки моделі «розумного міста» на основі технологій Інтернету речей (IoT) та Великих даних (Big Data) в умовах цифрової трансформації. Актуальність обраної теми зумовлена глобальними процесами

урбанізації, цифровізації економіки та зростанням ролі даних у прийнятті управлінських рішень, а також потребою українських міст у модернізації міської інфраструктури та підвищенні якості життя населення.

У першому розділі роботи було розкрито теоретико-методологічні засади концепції «smart-city» в контексті цифрової трансформації. Проаналізовано еволюцію підходів до розуміння smart-city як соціально-економічного феномену, що базується на інтеграції цифрових технологій, інноваційного управління та орієнтації на потреби громадян. Встановлено, що ключовими елементами сучасної моделі розумного міста є цифрова інфраструктура, участь громадян, сталість розвитку та використання даних як стратегічного ресурсу. Особливу увагу приділено ролі технологій IoT та Big Data як фундаменту для формування кіберфізичних міських систем і переходу до data-driven governance.

У другому розділі дипломної роботи проведено аналіз практичної реалізації технологій IoT та Big Data в моделі розумного міста на основі зарубіжного досвіду, прикладів українських міст та міста Запоріжжя зокрема. Дослідження світових кейсів (Барселона, Лондон, Сінгапур, Дубай і Таллінн) підтвердило ефективність використання сенсорних мереж, аналітики Великих даних й цифрових платформ для управління транспортом, енергоспоживанням, екологічною безпекою та міськими сервісами. Аналіз українського досвіду засвідчив поступове впровадження smart-рішень, однак переважно у вигляді окремих проєктів без повної інтеграції в єдину систему управління містом.

Окрему увагу в роботі було приділено практичним аспектам впровадження IoT та Big Data в місті Запоріжжя. Встановлено, що місто вже має певні елементи smart-інфраструктури, зокрема у сфері громадського транспорту, цифрових сервісів, комунікації з громадянами та розвитку LoRaWAN-мереж. Узагальнення отриманих результатів дозволило зробити висновок про наявність реальних передумов для подальшого розвитку

комплексної моделі «розумного» міста за умови системного підходу та стратегічної підтримки.

Третій розділ дипломної роботи присвячено аналізу викликів, перспектив і формуванню рекомендацій щодо впровадження технологій IoT та Big Data в Україні та місті Запоріжжя. Доведено, що основними бар'єрами цифрової трансформації є фінансові, інституційні, кадрові та безпекові чинники. Водночас визначено значний потенціал розвитку smart-міст у післявоєнний період, зокрема через концепцію smart-відбудови, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій у процеси реконструкції міської інфраструктури.

За результатами дослідження сформовано практичні рекомендації щодо розвитку IoT-інфраструктури, створення міських платформ Великих даних, підвищення цифрової грамотності мешканців, удосконалення нормативно-правового регулювання та залучення бізнесу й громадськості до процесів цифрової трансформації. Обґрунтовано доцільність використання технологій IoT та Big Data як інструменту підвищення ефективності управління, сталого розвитку та безпеки міського середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Belissent, J. (2010). Getting clever about smart cities: New opportunities require new business models. Cambridge, Forrester.

2. Dutton, W. H. (2019). Wired City. *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies*, 1-4. URL:https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0414.

3. Voronkova V., & Nikitenko V. Creative city as a factor of digital society development. *Municipal Economy of Cities.* 2022. 2 (169). P. 57–64. URL:https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-2-169-57-64

4. OECD: Green Cities Programme. (2010). Retrieved from URL:http://www.oecd.org/gov/regional-policy/49318965.pdf. (дата звернення 24.12.2023)

5. Inkinen, T. (2015). Reflections on the innovative city: examining three innovative locations in a knowledge bases framework. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 1(1),* p. 8. URL:https://doi.org/10.1186/s40852-015-0009-5.

6. Coll, J. M. (2017). Why Wise Cities? Conceptual Framework. Wise Cities.

7. Smart Cities and Inclusive Growth. – OECD, 2020. URL:https://www.oecd.org/cfe/cities/OECD_Policy_Paper_Smart_Cities_and_Inclusive_Growth.pdf (дата звернення 28.12.2023)

8. Єршова О.Л., Бажан Л.І. Розумне місто: концепція, моделі, технології, стандартизація. *Статистика України.* 2020. № 2–3. С. 68–77. URL:http://194.44.12.92:8080/jspui/handle/123456789/5372

9. Тур О.В. Концепція розумного міста як основа сталого розвитку територій. *Східна Європа: економіка, бізнес, управління.* 2018. Вип. 4(15). С. 287–289 URL:http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/3946

10. Smart cities: Digital solutions for a more livable future / J. Woetzel et al. McKinsey Global Institute. 2018. 18 p. URL:https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-andinfrastructure/our-insights/smart-citiesdigital-solutions-fora-more-livable-future (дата звернення: 15.12.2023).

11. Gabriela Viale Pereira, Maria Alexandra Cunha, Thomas J. Lampoltshammer, Peter Parycek & Maurício Gregianin Testa (2017) Increasing

collaboration and participation in smart city governance: a cross-case analysis of smart city initiatives. *Information Technology for Development.* № 23:3. P. 526–553. URL:http://dx.doi.org/10.1080/02681102.2017.1353946

12. Opinion of the European Economic and Social Committee on ‘Smart cities as drivers for development of a new European industrial policy’ (own-initiative opinion). Official Journal of the European Union. 2015. P. 24–33. URL:https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52015IE0586 (дата звернення: 17.12.2023)

13. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О. Філософія цифрової людини і цифрового суспільства: теорія і практика: монографія. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2022. 460 с.

14. Воронкова В.Г., Метеленко Н.Г., Нікітенко В.О., Ажажа М.А., Венгер О.М. Цифрові технології як чинник сталого розвитку екологічного менеджменту, екологічної безпеки та зеленої економіки в умовах глобальних викликів. Modern aspects of science and education : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2025. С.95-118.

15. Zaman, Mostafa, et al. "A review of IoT-based smart city development and management." *Smart Cities* 7.3 (2024): 1462-1501. URL:https://doi.org/10.3390/smartcities7030061

16. Самойленко, М. Ю. (2020). Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки. *ВЧЕНІ ЗАПИСКИ*, 62020142. URL:https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/24

17. Смолин О.І., Олексюк В.П. Інтернет речей як технологічний феномен XXI століття. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи : матеріали IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Тернопіль, 30 квітня 2020 року). Тернопіль, 2020. С. 147–149

18. Kanuch, P., et al., *Classification of the IoT Technologies for Better Selection* (conference paper, 2020) URL:https://www2.fiit.stuba.sk/~macko/download/TSP2020b_accepted.pdf

19. Adrian Pekar, Jozef Mocnej, Winston K. G. Seah, and Iveta Zolotova. 2020. Application Domain-Based Overview of IoT Network Traffic Characteristics. ACM Comput. Surv. 53, 4, Article 87 (July 2020), 33 pages. URL:https://doi.org/10.1145/3399669

20. Choudhary A., Internet of Things: a comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions, Discover Internet of Things (2024) URL:https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3

21. Пулеко І. В. Єфіменко А. А. Архітектура та технології Інтернету речей: навч. посіб. / І.В. Пулеко, А.А. Єфіменко. – Електронні дані. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. – 234 с. URL:http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/8093

22. Шкирта І. М. Технологія Big Data: сутність, можливості для бізнесу / І. М. Шкирта, В. Ф. Лазар // Науковий вісник Мукачівського державного університету. Серія "Економіка" : збірник наукових праць / гол. ред. Т.В. Черничко. - Мукачево : МДУ, 2019. - Випуск 2(12). - С.51-56 URL:http://dspace.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/5688

23. Юрчук Н. П., Кіпоренко С. С. Розвиток технологій big data в умовах цифрових трансформацій. Агросвіт. 2021. № 9-10. С. 60–68. URL:10.32702/2306-6792.2021.9-10.60

24. Khan, Nawsher, et al. "Big data: survey, technologies, opportunities, and challenges." The scientific world journal 2014.1 (2014): 712826. URL:http://dx.doi.org/10.1155/2014/712826

25. Іванов, Д. Є., Алексеєнко, В. В., & Ярмоленко, Т. А. (2023). Особливості взаємозалежності технологій Великих даних (Big Data) та Інтернету речей (Internet of Things). *Вісник Приазовського державного*

технічного університету. Серія: Технічні науки, (46), 13-27. URL:https://eprints.zu.edu.ua/38048/1/288096-main.pdf

26. The Role of Big Data in Smart Cities and IoT Implementations (2023). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.trigyn.com/insights/role-big-data-smart-cities-and-iot-implementations

27. Lisova R.M. (2020).Tsyfrova transformatsiia ta stratehichne upravlinnia biznes-modeliamy [Digital transformation and strategic management of business models]. Suchasnyi menedzhment: tendentsii, problemy ta perspektyvy rozvytku: tezy dopovidei uchasnykiv V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii

28. Smart Nation Singapore. Smart Nation 1.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.smartnation.gov.sg/sn1/

29. Smart Nation Singapore. Smart Nation 2.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.smartnation.gov.sg/sn2/

30. Smart Nation Singapore. Smart Nation 2.0. Goals of SN2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.smartnation.gov.sg/goals-of-sn2/?utm_source=chatgpt.com

31. VIA SMART CITIES [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.viasmartcities.com/smart-city-barcelona/?utm_source=chatgpt.com

32. Toronto Metropolitan University [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.torontomu.ca/scithub/

33. Transportation Data & Analytics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.toronto.ca/services-payments/streets-parking-transportation/road-safety/big-data-innovation-team/

34. TORONTO OPEN DATA. OPEN DATA PORTAL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://open.toronto.ca/catalogue/?search=transportation

35. Blayne Haggart, Zachary Spicer. Infrastructure, smart cities and the knowledge economy: Lessons for policymakers from the Toronto Quayside project.

Article *in* Canadian Public Administration (2022) URL:https://www.researchgate.net/publication/361283225

36. TORONTO GLOBAL. Smart Cities: Where Human and Artifical intelligence Meet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://torontoglobal.ca/technology/smart-cities-where-human-and-artifical-intelligence-meet-2024/

37. Smart Dubai Internet of Things Strategy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://iot.xische.com/

38. Dubai Tech. How Dubai is Using Big Data to Transform city services. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://dubaitechinfo.com/how-dubai-is-using-big-data-to-transform-city-services/?utm_source=chatgpt.com

39. European Green Capital Award Good Practices – Tallinn – Smart City sensors. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://environment.ec.europa.eu/topics/urban-environment/european-green-capital-award/inspiration/tallinn-smart-city-sensors_en

40. TALLIN SMART CITY: ESTONIA'S FLAGSHIP OF INNOVATION [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.blue-europe.eu/analysis-en/short-analysis/tallin-smart-city-estonias-flagship-of-innovation/

41. Kyiv Smart City [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://smartcitykyiv.com/

42. Air Quality in the city Kyiv [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.saveecobot.com/en/maps/kyiv

43. Lviv Smart City [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.interregeurope.eu/project-ideas/lviv-smart-city

44. Твоє місто. Чи стане Львів розумнішим. Підсумки проєкту «Smart city» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://tvoemisto.tv/news/chy_stane_lviv_rozumnishym_pidsumky_proektu_smart_city_69724.html

45. Lviv IT Cluster. Lviv on the Road to Smart City [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://itcluster.lviv.ua/itid/lviv-on-the-road-to-smart-city/

46. Buntaiste a jet BI Group Company. Parking cloud project in Lviv, Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://buntaiste.com/2023/07/31/parking-cloud-lviv/

47. Vodafone.ua. Перший в Україні цифровий двійник міста з'явиться у Одеси [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.vodafone.ua/en/news/digital-double-in-odessa

48. Lyudmila VOLOSHCHUK, Oleksandr SBITNEV «HYBRID CLOUD-BASED INTELLIGENT TRAFFIC MONITORING IOT SYSTEM FOR A RESIDENTIAL AREA» *Advanced Information Technology*, vol.1(3), pp. 83–96, 2024 URL:https://doi.org/10.17721/AIT.2024.1.10

49. Sea. Що потрібно зробити Україні для створення розумних міст? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.sea.com.ua/ua/service/news/so-potribno-zrobiti-ukraini-dla-stvorenna-rozumnih-mist/

50. Уніан. Київстар, Vodafone Україна та Lifecell надаватимуть цифрові рішення для розвитку Запорізької області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.unian.ua/economics/telecom/kijivstar-vodafone-ukrajina-ta-lifecell-nadavatimut-cifrovi-rishennya-dlya-rozvitku-zaporizkoji-oblasti-novini-11238497.html

51. Zba. Проєкти 2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.zba.org.ua/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%82%D0%B8

52. Tkachenko A., Sevast`yanov R. (2023). Development of electronic services of the smart city. Economic Herald of State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», № 1, 2023 URL:http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/10349

53. IFC. Українське місто прагне розумнішого та екологічнішого майбутнього [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.ifc.org/uk/stories/2021/smart-city-zaporizhzhia-ukraine-uk

54. Razumkov centre. Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf

55. Воронкова В.Г., Нікітенко В.О., Метеленко Н.Г. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. Educational discourse : collection of scientific papers / Chief Editor O. P. Kyvliuk, D. B. Svyrydenko – Kyiv : LLC “Scientific Information Agency “Science-technologies-information”, 2025. Volume 52(1-2). С.22-30.

56. Проєкт «Діалог влади та бізнесу»: «Інтернет речей (IoT) та хмарні рішення» Запорізька торгово-промислова палата [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:https://www.cci.zp.ua/dialog-vlady-ta-biznesu-internet-rechej-iot-ta-hmarni-rishennya

57. Сухенко В. В. Цифрові права як новітня парадигма розвитку цифрового міста. Формування концепції цифрової трансформації освіти та соціально-відповідального цифрового громадянина у контексті європейського досвіду : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 21–22 листопада 2024 року / ред.-упорядник: д. філософ. н., проф. В. Г. Воронкова. Львів – Торунь : Liha-Pres, 2024.– 634 с. С. .225=229 https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/25281

58. Сухенко Валерія, Коробкіна Єлізавета. Філософія цифрового розвитку міст та шляхи підготовки цифрового песрсоналу. Science and practice: topical and perspectives international scientific - practical conference may14-15, 2024 Problems and Prospects: International Scientific-Practical Conference: Book of Abstracts, 14th–15th of May, 2024 Virtual Conference С.71. http://dspace.lsu.lt/handle/123456789/120.http://dspace.lsu.lt/bitstream/handle/123

456789/120/TEZ%c4%96S_2024%2005%2013%20konferencija%20_galutinis%20maketas%2008%2008-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

59. Suhenko V. Artificial intelligence as a new model of smart city management in the context of digital transformation. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2025. Т.5. 471 с. С.147. https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//--storichnij-fakultet-2023/tom_5_ostatochna_vers__ya.pdf

60. Nikitenko, V., Voronkova, V., Kyvliuk, O., Oleksenko, R., Suhenko V.. Philosophical reflection on artificial intelligence and its impact on the development of society, human, and education. Humanities studies: Collection of Scientific Papers. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», 2024. Вип.19 (96). P. 67–76. doi: https://doi.org/10.32782/hst-2024-19-96-07 http://humstudies.com.ua/article/view/307058/298408

61. Сухенко В. В. Сталий розвиток через призму цифрового менеджменту в Smart-містах. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (15–16 травня 2025 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025.– 964 с. С.892-895