

Міністерство освіти і науки України  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра комп'ютерних наук  
 (повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
 до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Цифрові двійники для технологічних ліній в «розумному місті»

Виконав: студент VI курсу груп САМ-  
 \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ і \_\_\_\_\_ 61

спеціальності \_\_\_\_\_  
 підготовки) \_\_\_\_\_ (напряму 124

Системний аналіз

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

\_\_\_\_\_ Мадзей П.А.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Пасічник В.В.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Мацюк О.В.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ Лупенко С.А.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

## АНОТАЦІЯ

Цифрові двійники для технологічних ліній в «розумному місті» // Дипломна робота освітнього рівня «Магістр» // Мадзей Петро Андрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра кафедра комп'ютерних наук, група СФм-61 // Тернопіль, 2019 // С. , рис. – , табл. – , кресл. – , додат. – , бібліогр. – .

Ключові слова: BIGDATA, ВИРОБНИЦВО, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ІНТЕРНЕТ, ІНТЕРФЕЙС, ЛІНІЯ, СЕРВЕР, УПРАВЛІННЯ, ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК, РОЗУМНЕ МІСТО.

Дипломна робота присв'ячена розробленню інформаційної технології з використанням цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті». В першому розділі дипломної роботи подано опис концепції та визначення поняття «Цифровий двійник» в контексті його реалізації в міському середовищі «розумного міста». Сформовано мету та завдань дослідження. В другому розділі дипломної роботи розглянуто архітектурні рішення спрямовані на опрацювання міських колекцій «Великих даних» та компонентів «Інтернету речей». Розроблена універсальна архітектура застосунків цифрових двійників для проектів класу «розумне місто».

В третьому розділі дипломної роботи розглянуто детально описано використовувані апаратно-програмні засоби хмарної платформи «розумного міста». Подано опис процесу розроблення програмного забезпечення «розумного» цифрового двійника. Описано особливості розміщення застосунків у хмарній інфраструктурі «розумного міста». Виконано розділи «Спеціальна частина», «Обґрунтування економічної ефективності», «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях», «Екологія».

## ANNOTATION

Digital twins for technological lines in «smart city» // Master's Thesis // Madzey Petro Andiyovich // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Department of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Sciences, SAm-61 group // Ternopil, 2019 // P. , Fig. - , Table. - , Chair. - , Add. - , Biblio. - .

The thesis is devoted to the development of information technology using digital doubles for technological lines in the "smart city". The first section of the thesis presents a description of the concept and definition of the term "Digital Double" in the context of its implementation in the urban environment of "smart city". The purpose and objectives of the study were formulated. The second section of the thesis deals with architectural decisions aimed at working on urban collections of Big Data and components of the Internet of Things. The universal architecture of digital doubles applications for smart city projects has been developed.

The third section of the thesis examines in detail the used hardware and software of the cloud platform "smart city". The description of the process of software development of "smart" digital counterpart is given. Features of placement of applications in the cloud infrastructure of "smart city" are described. The sections "Special part", "Justification of economic efficiency", "Occupational health and safety", "Ecology" have been completed.

**Keywords:** BIGDATA, MANUFACTURING, INFORMATION TECHNOLOGIES, INTERNET, INTERFACE, LINE, SERVER, MANAGEMENT, DIGITAL DOUBLE, SMART CITY.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

API (англ. Application Programming Interface) – Програмний інтерфейс застосунку.

AWS (англ. Amazon Web Services) – Веб-сервиси Амазон.

CAD (англ. Computer-Aided Design) – Комп'ютерний дизайн.

DB (англ. Database) – База даних.

DDB (англ. Distributed Database) – Розподілена база даних.

DCN (англ. Distributed Computing Network) – Мережа розподілених обчислень.

DTW (англ. Dinamic Time Warping) – Динамічна часова трансформація.

ІО (англ. Input-Output) – Ввід-вивід.

HMI (англ. Human-Machine Interface) – Людино-машинні інтерфейси.

MSK (англ. Managed Streaming for Apache Kafka) – Керований потік для Apache Kafka.

OPC (англ. Open Platform Communications) – Відкрита комунікаційна платформа.

PLC (англ. Programmable logic controller) – Програмований логічний контролер.

SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерське управління і збір даних.

БД – База даних.

РСУБД – Розподілена система управління базами даних.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	11
1.1 Інформаційні системи в проектах класу «Розумне місто» .....	11
1.2 Опис концепції та визначення поняття «Цифровий двійник» .....	16
1.3 Цінність створення цифрових двійників в середовищі «розумного міста» .....	17
1.4 Переваги від використання цифрових двійників у проектах «розумних міст» .....	18
1.5 Формування мета та завдань дослідження .....	21
1.6 Висновки до першого розділу.....	21
2 ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ «РОЗУМНИХ МІСТ», «ВЕЛИКІ ДАНІ», ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ ТА АРХІТЕКТУРА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА .....	23
2.1 Виробничі процеси «розумних міст» на основі цифрових двійників.....	23
2.2 Процес створення цифрового двійника в міському середовищі.....	25
2.2.1 Концептуальна архітектура міського цифрового двійника .....	26
2.2.2 Цифровий потік в інформаційному середовищі «розумного міста» .....	29
2.2.3 Оптимальний підхід до побудови «розумного» цифрового двійника.....	30
2.3 Процес прийняття муніципальних рішень на основі цифрового двійника.....	31
2.4 Загальна архітектура «розумного» цифрового двійника .....	33
2.5 Цифровий двійник як система опрацювання «Великих даних» «розумного міста» .....	35

2.5.1	Узагальнена архітектура опрацювання «великих даних» у системах класу «розумне місто».....	36
2.5.2	Лямбда-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті» .....	38
2.5.3	Каппа-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті» .....	40
2.5.4	Пакетне опрацювання «Великих даних» у «розумному місті» ..	41
2.5.5	Потокове опрацювання «Великих даних» у «розумному місті»	41
2.6	Архітектура міського цифрового двійника .....	43
2.7	Алгоритмічна динамічна трансформація часової шкали в «розумному місті» .....	44
2.8	Висновки до другого розділу .....	46
3	РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ «РОЗУМНИХ МІСТ» .....	47
3.1	Використовувані апаратно-програмні засоби хмарної платформи «розумного міста» .....	47
3.2	Розроблення програмного забезпечення «розумного» цифрового двійника.....	48
3.3	Розміщення застосунків у хмарній інфраструктурі «розумного міста» .....	57
3.4	Висновок до третього розділу.....	58
4	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	59
4.1	Тестування продуктивності розробленої інформаційно-технологічної платформи.....	59
4.2	Висновок.....	63
5	ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....	64
5.1	Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи.....	64
5.2	Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	65
5.3	Розрахунок матеріальних витрат.....	69

	7
5.4 Розрахунок витрат на електроенергію .....	70
5.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань .....	70
5.6 Обчислення накладних витрат.....	71
5.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи .....	72
5.8 Розрахунок ціни проведених науково-дослідних робіт.....	73
5.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	74
5.10 Висновок .....	75
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	77
6.1 Професійне «вигорання» працівників галузі інформаційних технологій.....	77
6.2 Вимоги до профілактики медичних оглядів .....	79
6.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до дії світлового випромінювання ядерного вибуху .....	82
6.4 Забезпечення захисту працівників суб'єкта господарювання від іонізуючих випромінювань .....	85
6.5 Висновок.....	88
7 ЕКОЛОГІЯ .....	89
7.1 Статистика екології об'єктів природного середовища .....	89
7.2 Абсолютні показники екологічних явищ .....	91
7.3 Висновок до розділу «Екологія».....	95
ВИСНОВКИ.....	96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	98
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

В сучасному міському середовищі, для якого, завдяки високому розвитку інформаційних технологій з'являється можливість збільшення ефективності традиційних виробничих комплексів і досягнення найкращого рівня якості продукції, що випускається з метою практичної реалізації проектів класу «розумне місто». Застосовуючи парадигму цифрового виробництва, з допомогою сучасних інформаційних технологій можна створювати цифрові копії (двійники) окремих частин об'єктів управління фізично інтегрованих в міське середовище. Кожна з поданих копій описує одну з множини доступних властивостей, підсистем, уявлень фізичного об'єкта, при цьому в сукупності вони дають повний опис об'єкта.

*Актуальність теми.* Цифрові двійники – це складні інформаційно-технічні системи, що охоплюють практично всі рівні автоматизованої системи управління технологічними процесами «розумного міста», від рівня виконавчого обладнання інтегрованого в міське середовище до рівня планування міських ресурсів. При побудові цифрових двійників формується основна проблема дослідження, пов'язана з складністю архітектури програмного забезпечення цифрових двійників, яка потребує наявності потужної та розлого інтегрованої в міське середовище апаратно-програмної інфраструктури. Основні причини виникнення даної проблеми:

1. Для опису гіперскладних міських систем управління потрібні складні математичні розрахунки і як наслідок потрібно велику кількість доступних обчислювальних ресурсів.

2. Велика кількість сигналів в складі міських систем управління. Для оптимізації процесів зберігання яких потрібне розроблення спеціальних програмно-алгоритмічних алгоритмів.

3. Високі вимоги до надійності та масштабування.



У дипломній роботі представлений підхід застосування хмарних розподілених обчислювальних інфраструктур та сервісів для побудови цифрових двійників виробничих технологій інтегрованих в фізичне та обчислювальне середовище інноваційних проектів класу «розумне місто». Наведено оптимальний підхід для побудови міського цифрового двійника. Розроблено архітектуру побудови цифрових двійників в проектах класу «розумне місто» на основі інформаційно-технологічних архітектурних рішень для обробки інформаційних технологій «Великих даних» та «Інтернету речей». Описано процес розроблення та програмно-алгоритмічні рішення для застосунків цифрового двійника.

*Мета і задачі дослідження.* Метою магістерської роботи є підвищення якісних характеристик міських сервісів.

Для досягнення поставлених в роботі цілей необхідно виконати наступні завдання:

- дослідити цифрові двійники, як системи опрацювання «Великих даних» в сучасних проектах «розумних міст»;
- провести аналітичний огляд архітектурні рішення спрямовані на опрацювання міських колекцій «Великих даних»;
- розробити архітектуру застосунків цифрових двійників для проектів класу «розумне місто».
- розробити програмне забезпечення «розумного» цифрового двійника.

*Об'єкт дослідження.* Системи управління інтегрованими в міське середовище фізичними пристроями та об'єктами.

*Предмет дослідження.* Методи та засоби організації міських систем управління.

*Методи дослідження.* Методи аналітичного опрацювання наукових джерел. Методи системного аналізу. Методи кроссплатформного програмування. Методи реалізації пристроїв на основі «Інтернету речей».

*Наукова новизна одержаних результатів.* У даній роботі був запропонований метод створення застосунків цифрових двійників для проектів класу «розумне місто».

*Практичне значення одержаних результатів.* Розроблено програмне забезпечення «розумного» цифрового двійника для управління інтегрованими в міське середовище технологічними лініями.

*Апробація результатів* магістерської роботи проведена на двох наукових конференціях з публікацією тез доповідей.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Інформаційні системи в проектах класу «Розумне місто»

Інформаційні системи на базі «Інтернету речей» («IoT») відіграють важливу роль в процесах збору інформаційних наборів з багатьох джерел в середовищі «розумних міст» [1]. Велика кількість міст вже розгорнули IoT-інфраструктуру та різні колекції сенсорних пристроїв для постійного збирання міських даних. Наприклад, «Intel Labs Europe» у співпраці з Дублінської міською радою розгортає загальнодержавну інформаційно-технологічну інфраструктуру для моніторингу та виявлення параметрів екологічного стану міста [2]. IBM збирає дані міста Дублін про дорожній рух, отримані від муніципальних давачів, розміщених на великих дорогах міста [3]. Сінгапурський проект «Supertrees» використовується для збору даних про навколишнє середовище, включаючи якість повітря, температуру та кількість опадів [4]. На вулицях Сінгапуру – мережа давачів руху та пристроїв з інтегрованим GPS, вбудована в таксі, відстежує міський трафік і прогнозує перспективну його завантаженість. Місто Орхус у Данії розгорнуло давачі руху на основних дорогах міста. Подібні IT-інфраструктури постійно впроваджуються в світі. Ці інфраструктури на базі IoT-пристроїв є основним джерелом безперервного процесу збору даних, а величезна кількість даних може бути використана багатьма додатковими муніципальними програмами.

Велика кількість дослідницьких проектів та інших подібних ініціатив переважно зосереджена на зборі та наданні даних [5], зібраних в середовищі розумних міст [6], наприклад, Платформа ODAА [7] забезпечує відкритий доступ до даних, зібраних в місті Орхус за допомогою ченсорної мережі, розгорнутої в межах міста. Відкриті дані в місті Сан-Франциско [8] та Портал

даних міста Чикаго [9] надають централізовану колекцію обширних загальнодоступних розумних наборів даних.

iCity [10] та SmartSantander [11] надають централізовану платформу для доступу до даних, створених з множини неоднорідних дачачів, встановлених в різних локаціях декількох європейських міст. Ці платформи полегшують розробку програм, забезпечуючи доступ до різних сервісів та API для розробки розумних міських застосунків. Проте, обидві платформи мають на меті забезпечити доступ до спостережень низького рівня дачачів, а будь-яке аналітичне опрацювання даних повинно проводитися в спеціальних міських застосунках, що призводить до потенційної реплікації функціональних можливостей аналітичного порадження даних та інформаційно-технологічних архітектур консолідованих доменів.

Розуміючи важливість семантичних технологій для зменшення неоднорідності збирання даних з міст, було проведено декілька спроб використання семантичних технологій для збору даних отриманих за допомогою IoT-пристроїв, таких як OpenIoT [12], Spitfire [13] та iCore [14]. Європейський проект OpenIoT забезпечує проміжне програмне забезпечення для рівномірного доступу до даних отриманих за допомогою IoT-пристроїв за допомогою семантичних моделей, таких як SSN. Проект Spitfire використовує семантичні технології для забезпечення уніфікованого способу пошуку, інтерпретації та перетворення сенсорних даних. Spitfire також забезпечує базовий набір сервісів для доступу до інтегрованих даних, які діють як абстрактний шар між рівнем застосунків та рівнем даних. Підтримувана сервіс-орієнтована архітектура спрощує процедури доступу до даних, але дозволяє обмежений набір операцій, які можуть виконуватися над зібраними інформаційними колекціями [15]. Проект iCore пропонує навчальну платформу для IoT-пристроїв та розумних міських застосунків, приховуючи неоднорідність об'єктів та пристроїв, оперуючи поняттями на кшталт віртуальних об'єктів та набору віртуальних об'єктів.

Дані отримані за допомогою IoT-пристроїв в режимі реального часу, зібрані з міського середовища, можуть відігравати важливу роль у розробці інтелектуальних систем аналізу даних міста [16], які можуть автоматично визначати важливі події в місті (наприклад, перевантаження чи аварії ресурсних мереж, дорожньо-транспортні пригоди, тощо) та запускати відповідні процедури для відновлення контролю за ситуацією. «PLAY» [17] забезпечує проміжне програмне забезпечення, кероване подіями, яке здатне обробляти комплексне виявлення подій у великих, дуже розподілених та неоднорідних системах. Архітектура «PLAY» полегшує управління подіями та керування адаптивними процесами, які можуть автоматично адаптуватися після відстеження контекстної інформації. Outsmart – це проміжне програмне забезпечення, орієнтоване на ресурси, в поєднанні з системою правил, яка дозволяє керувати розподіленими гетерогенними ресурсами IoT-пристроїв. IBM Star City – це семантична система аналізу та аналізу трафіку, яка об'єднує дані давачів, пов'язаних із трафіком, персональних користувацьких давачів, та давачів інтегрованих в середовище міста [18]. Star City підтримує аналітичне опрацювання даних в режимі реального часу для ідентифікації подій, що стосуються домену міського транспортного трафіку, наприклад, корки (рос. «пробки»), дорожньо-транспортні пригоди, тощо. Також для домену міського транспортного трафіку, Чжао та ін., пропонують гібридну систему обробки [19], яку можна використовувати для аналізу великих за обсягом та слабоструктурованих даних, що надходять від давачів руху. Система підтримує обробку даних поточкових та історичних даних давачів трафіку, яка об'єднує розбиття просторово-часових даних, паралельну конвеєрну обробку та технології поточкових обчислень для підтримки гібридної обробки даних давачів руху в режимі реального часу.

Останнім часом деякі розумні міські проекти та ініціативи сприяли стратегічному та технологічному розвитку міст, надаючи підтримку на рівні застосунків для розумних міських сервісів [20, 21, 22]. Проект «VITAL» [23]

об'єднує гетерогенні IoT-платформи за допомогою семантичних засобів в хмарному середовищі, призначених для «розумного міста». Цей проект забезпечує рівномірний рівень доступу для різномірних IoT-платформ (X-GSN, Xively [24], FIT, Hi Reply [25] та OpenIoT) для збирання даних про «розумні міста» [26, 27]. У проекті Vital доступ до існуючих IoT-платформ здійснюється шляхом адаптації до наданих інтерфейсів та абстрактних шарів за допомогою RESTfull-платформи. Розробники повинні суворо дотримуватися концепції HTTP-REST для створення послуг.

Сучасний стан «розумних міст» акцентує увагу на наявних розумних міських платформах [28]. Існуючі наукові праці в основному включають в себе наступні сфери: збір даних; семантичну сумісність; аналіз даних у режимі реального часу, виявлення подій, підтримка розробки розумних міських застосунків [29]. Як показано в таблиці, додатково до збору даних та семантичної сумісності, система CityPulse забезпечує повний набір інструментів аналітичного опрацювання даних в режимі реального часу, таких як консолідація даних, агрегація даних, виявлення подій, аналіз якості та підтримка прийняття рішень. Розробка застосунків підтримується через набір «API», наданих «CityPulse», котрі забезпечують відкритий доступ до повної інтелектуальної системи аналізу даних міст і можуть використовуватись для розробки «розумних» міських застосунків.

Підтримка «API»-рівня на основні компоненти системи «CityPulse» сприяє створенню вільно пов'язаної архітектури для розробки «розумних» міських застосунків. Розробники застосунків можуть використовувати повний конвеєр обробки схеми «CityPulse» або використовувати лише спеціалізовані компоненти в залежності від вимог їх застосування.

«NYC Open Data» надає різномірні дані про бізнес, міське самоврядування, освіту, навколишнє середовище, охорону здоров'я, соціальні послуги, транспорт та громадськість. Щорічна акція «BigApps» [30] об'єднує

сотні розробників, дизайнерів, виробників та маркетологів у конкурсі для вирішення різних завдань за допомогою технологій. Приклади попередніх завдань включають «Виробництво з нульовими відходами», «Доступне житло для містян» та інші. За винятком доступу до великої кількості наборів даних, «NYC Open Data» не пропонує ніяких наборів аналітичних даних або компонентів для попередньої обробки даних, які спільнота розробників може використовувати для розробки своїх служб та програм. Тому системи для комплексного збору, зберігання та аналітичного опрацювання даних мають потенціал для полегшення процесів розробки міських застосунків та підтримки прийняття рішень.

Аналогічно Хан і ін. [31] запропонували прототип, розроблений для демонстрації ефективності служб аналітичного опрацювання на основі хмарних сервісів для зведеного відкритого доступу до «Bristol Smart City» для визначення співвідношень між вибраними показниками міського середовища та якості життя. Запропонована система ділиться на три шари для забезпечення процесу створення єдиної бази знань. Нижній рівень в архітектурі складається з розподілених та неоднорідних сховищ даних та різних дачив підключених до системи. Картографічний та зв'язаний шар ресурсів (середній шар) знаходить нові сценарії та підтримує робочі процеси для пошуку кореляцій, котрий неможливий в ізольованих сховищах даних. Аналітичний рушій у верхньому шарі обробляє дані для конкретних задач проекту. Модулі підтримки прийняття рішень, контекстної фільтрації та технічної адаптації, не включені в згадану структуру.

Проект «Амстердам Смарт Сіті» (ASC) [32] включає ряд проектів, що охоплюють декілька областей, для створення «розумного міста». Напрямки реалізації включають «розумну» мобільність, «розумне» життя, «розумне» суспільство, «розумну» територію, «розумну» економіку, великі за обсягом та відкриті дані та інфраструктуру. На технічному рівні для досягнення

цілей проектів були розроблені та оптимізовані рішення для одночасного вирішення наведеного списку складових «розумного міста».

## **1.2 Опис концепції та визначення поняття «Цифровий двійник»**

Існує декілька визначень поняття «цифрового двійника» в проектах класу «розумне місто». «Цифровий двійник» являє собою інтегровану модель готового продукту в середовищі «розумного міста», яка моделює відображення всіх можливих виробничих дефектів для якої відбувається постійний процес оновлення, котрий супроводжується описом стійкого відношення в процесі використання. Деякі поширені визначення подають опис «цифрового двійника» у вигляді цифрової моделі реального фізичного об'єкта в міському середовищі із забезпеченням підтримки сенсорів, яка імітує його поведінку в режимі реального часу. [33]

У даній роботі освітнього рівня «Магістр» поняття «цифровий двійник» буде визначено в контексті його використання в проектах класу «розумне місто» у вигляді розвинутого цифрового віддзеркалення історичної та фактичної поведінки реального фізичного об'єкта або процесу в міському середовищі, який допомагає оптимізувати ефективність його експлуатації та використання. [34]

Модель «цифровий двійник» в «розумному місті» буде базуватись на показниках та вимірах проведених в режимі реального часу та в реальному масштабі отриманих на множині вимірів здійснених за допомогою інтегрованих в міське середовище сенсорів. [35] Ці виміри допомагають створити динамічний у часі профіль об'єкта та процесу, поданий у вигляді цифрової моделі, яка надаватиме важливу інформацію щодо системи в цілому, та впливатиме безпосередньо на сам виріб, призводячи наприклад до зміни дизайну продукту або перебіг виробничого процесу. [36]

Цифровий двійник відрізняється від традиційних систем автоматизованого проектування та побудованих на основі «Інтернету речей»



в проектах класу «розумне місто». [37] Системи автоматизованого проектування повністю інкапсульовані в комп'ютерному середовищі, а системи на основі «Інтернету речей» проводять вимірювання і діагностику для всього компонента, але не враховують взаємодії між компонентами і процесами повного життєвого циклу. [38]

Завдяки інтерактивності між цифровою моделлю і реальним продуктом або процесом в міському середовищі, цифровий двійник є комплексною моделлю і отримує перевагу в порівнянні з традиційними системами, що дозволяє йому давати більш реалістичні і цілісні вимірювання. [39] А завдяки розвитку інформаційних технологій, які роблять більш потужними обчислювальні можливості, ці інтерактивні вимірювання можна аналізувати за допомогою сучасних інфраструктур обробки «Великих даних» і удосконалених алгоритмів прогнозування в реальному часі з використанням засобів та методів автономного аналізу. [40]

### **1.3 Цінність створення цифрових двійників в середовищі «розумного міста»**

Виробничі процеси стають все більш цифровими. Багато рішень не могли бути реалізовані до появи пов'язаних «розумних» технологій. Одне з таких рішень – цифровий двійник (ЦД), цифрова модель фізичного об'єкта в міському середовищі, що працює в режимі реального часу, яка допомагає підвищити ефективність процесів управління та планування.

До недавнього часу цифровий двійник і величезні обсяги даних, які він використовує часто залишалися недоступним для муніципальних підприємств через обмеження в можливостях цифрових технологій, а також через значні суми надмірних витрат на обробку, зберігання даних і мережеву пропускну здатність. Бурхливий розвиток інформаційних технологій дозволили знизити витрати на створення цифрових рішень в міському

середовищі, що призвело до можливості створення цифрових двійників як прикладних міських виробничих технологій. Створення цифрового двійника дозволяє муніципалітетам отримати повну цифрову модель продукту, що описує наступні етапи:

1. Проектування продукту.
2. Розроблення продукту.
3. Експлуатація продукту.

Загальна модель для всього життєвого циклу продукту дозволяє зрозуміти не тільки продукт і як він був розроблений але і систему «розумного міста», яка розробила цей продукт, і як продукт використовується в міських умовах з поставленою метою. Завдяки комплексному підходу до створення моделі продукту в міському середовищі муніципалітети отримують такі вигоди:

1. Збільшення швидкості виходу на міський ринок.
2. Оптимізація основних технологічних і бізнес операцій.
3. Зменшення дефектів виробництва.
4. Зменшення дефектів продукту.
5. Оптимізація процесу розробки нових бізнес-моделей для збільшення доходів.

Однією з функцій цифрового двійника в проектах класу «розумне місто» є прогнозування. Завдяки комплексному підходу до прогнозування підвищується його точність.

#### **1.4 Переваги від використання цифрових двійників у проектах «розумних міст»**

До появи економічно вигідних для муніципальних установ та організацій пропозицій щодо зберігання і опрацювання даних, створення цифрових двійників було дорогим і приносило сумнівну та обмежену

користь. Динаміка зниження цін на сервіси обчислювальної інфраструктури застосовні для інноваційних проектів «розумних міст» («IaaS») [41], які включають в себе сервера, сховища даних, мережі, операційні системи, що надаються як муніципалітетам так і окремим користувачам для розміщення власних застосунків, подана на рисунку 1.1. Регресійний аналіз продовжує показувати падаючі в галузі. Лінія тренду стає значно більш дрібною після 2012 – 2014 років, і на даний час вирівнюється.

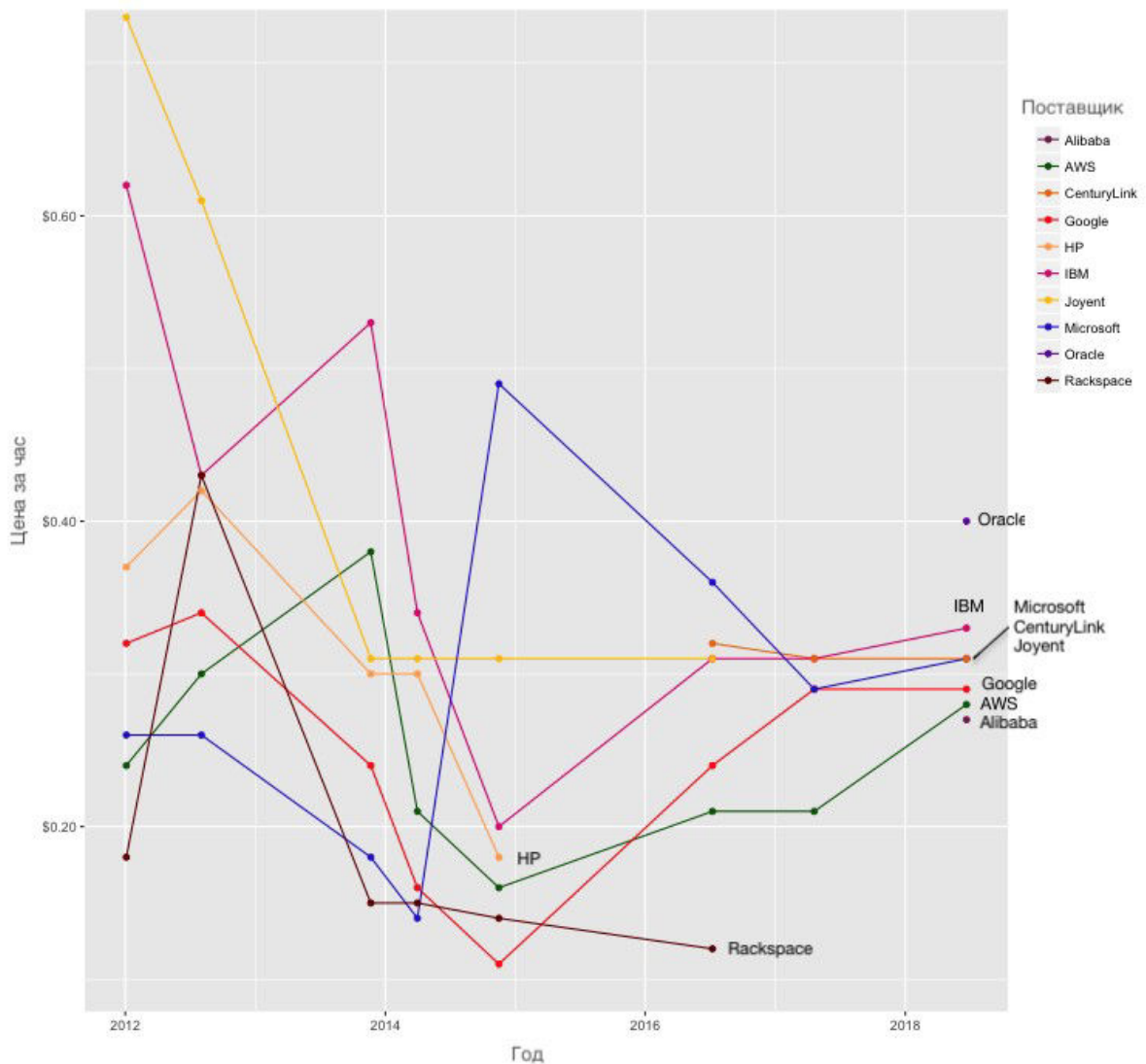


Рисунок 1.1 – Динаміка цін на послуги «IaaS»

При розгляді економічного зиску, який потенційно пропонує використання цифрових двійників в проектах класу «розумне місто», муніципалітети повинні зосередитися на питаннях, пов'язаних зі стратегічною продуктивністю і динамікою міського ринку послуг, в тому числі поліпшеною і більш тривалою ефективністю продукту, більш швидкими циклами проектування, потенціалом для нових потоків доходів і кращим управлінням витратами на гарантійне обслуговування. У таблиці 1.1 подано зведення таких значень за категоріями.

Таблиця 1.1 – Потенційні вигоди впровадження цифрових двійників у проекти класу «розумне місто»

Категорія	Потенційна вигода
Якість	Збільшення швидкості прогнозування і виявлення дефектів, поліпшення якості за рахунок аналізу на всіх етапах життєвого циклу продукту в міському середовищі.
Гарантійне обслуговування і вартість	Збільшення швидкості отримання інформації про стан продукту в міських умовах. Підвищення точності визначення стану продукту, за рахунок комплексного підходу до збору даних про нього. Зниження вартості гарантії та збільшення якості обслуговування жителів та гостей «розумного міста».
Експлуатаційні витрати	Поліпшення дизайну продукту і виконання інженерних змін. Підвищення продуктивності технологічного обладнання в міському середовищі. Скорочення технологічних операцій і мінливості процесів.
Вартість випуску нового продукту	Скорочення часу виходу на міський ринок послуг нового продукту. Скорочення загальних витрат на виробництво нового продукту. Визначення кращих компонентів з урахуванням впливу часу та міського середовища.
Можливості зростання	Більш точне визначення міських продуктів та

доходу	послуг готових до оновлень. Поліпшення ефективності в цілому і скорочення вартості послуг.
--------	--

Крім областей бізнес цінностей, згаданих вище, цифровий двійник в проектах класу «розумне місто» може допомогти в досягненнях багатьох інших ключових показників ефективності для муніципалітетів. В цілому, цифровий двійник може пропонувати обширну множину застосунків для збільшення вартості і кардинально змінити роботу проектів класу «розумне місто».

### **1.5 Формування мета та завдань дослідження**

Метою дослідження є створення універсальної архітектури застосунків цифрових двійників в проектах класу «розумне місто». Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналіз існуючих інформаційно-технологічних архітектурних рішень для обробки «Великих даних».
2. Аналіз компонентів архітектури на основі «Інтернету речей».
3. Обґрунтування рішення для побудови архітектури цифрового двійника в проектах класу «розумне місто» з урахуванням властивостей розподілених систем обробки інформації.
4. Розробка і реалізація програмної реалізації міського цифрового двійника з використанням стеку промислових інформаційних технологій.
5. Дослідження продуктивності розробленої інформаційної системи.

### **1.6 Висновки до першого розділу**

В першому розділі дипломної роботи досліджені інформаційні системи в проектах класу «Розумне місто». Подано опис концепції та визначення поняття «Цифровий двійник» в контексті його реалізації в міському

середовищі. Визначено цінність створення цифрових двійників в середовищі «розумного міста». Описано переваги від використання цифрових двійників у проектах «розумних міст». Сформовано мету та завдань дослідження.

## **2 ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ «РОЗУМНИХ МІСТ», «ВЕЛИКІ ДАНІ», ПРОЦЕС СТВОРЕННЯ ТА АРХІТЕКТУРА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА**

### **2.1 Виробничі процеси «розумних міст» на основі цифрових двійників**

Цифрові двійники призначені в проектах класу «розумне місто» використовуються для моделювання складних процесів або виробів, які по-різному взаємодіють з навколишнім міським середовищем, для якої важко передбачити результати протягом усього життєвого циклу продукту. Цифрові двійники в міських підсистемах можуть створюватися в самих різних контекстах та з різними цілями.

Наприклад в контексті виробництва реалізованого в «розумному місті», цифрові двійники використовуються для моделювання складних виробів, таких як реактивні двигуни і великі кар'єрні самоскиди, для моніторингу та оцінки зносу і специфічних видів напруг при використанні вироби в міських умовах. Такі цифрові двійники можуть дати важливу інформацію про складові сутності в міському середовищі, яка може вплинути на дизайн майбутніх виробів.

Цифровий двійник служить віртуальної копією того, що насправді відбувається на виробництві у міському середовищі в реальному часі. Тисячі давачів інтегрованих в міське середовище, розподілених по всьому фізичному ланцюжку виробничого процесу, спільно збирають дані щодо обширного спектру вимірювань: від поведінкових характеристик виробничого обладнання і станків (товщина, якість, колір, твердість, крутний момент, швидкості і т.д.) до умов навколишнього середовища в межах самого міста. Ці дані постійно опрацьовуються і передаються програмним забезпеченням інтегрованого в міське середовище цифрового двійника.

Модель інтегрованого в міське середовище цифрового двійника, подана на рисунку 2.1, [42] побудована на п'яти допоміжних компонентах:

1. Давачі.
2. Виконавчі пристрої.
3. Інтеграція.
4. Аналітика.
5. Рекомендації щодо керування

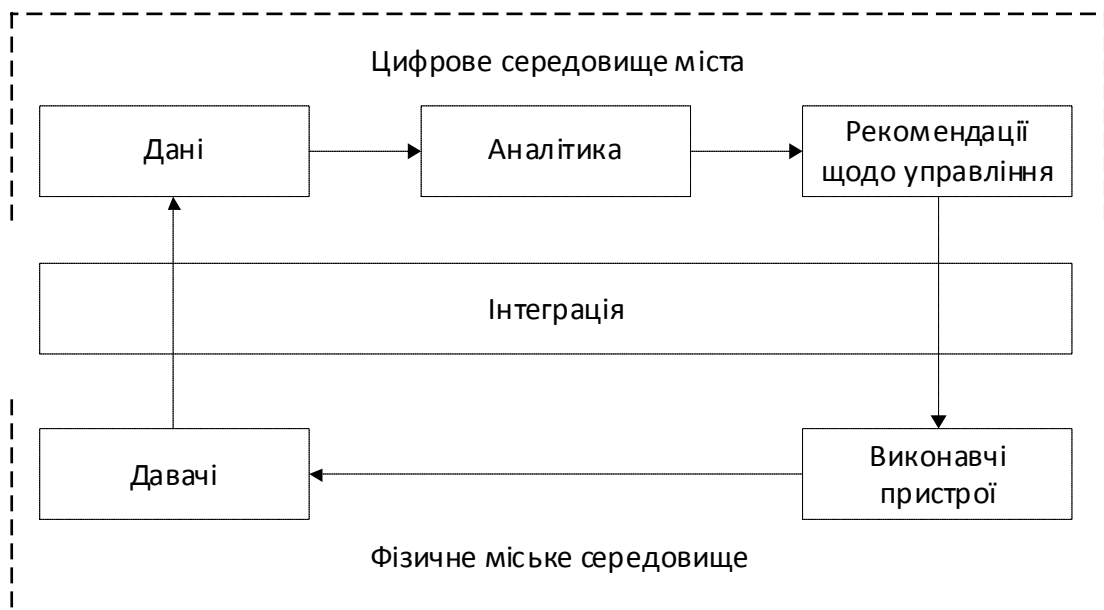


Рисунок 2.1 – Модель взаємодії фізичної та цифрового міського середовища

Розглянемо компоненти моделі взаємодії фізичного та цифрового міського середовища докладніше:

1. Давачі. Повсюдно інтегровані в міське середовище та розподілені по всьому виробничому процесу, створюють сигнали, які дозволяють системі цифрового двійника збирати оперативні дані і дані про міське середовище, що відносяться до фізичного процесу.

2. Дані. Реальні експлуатаційні дані і дані про міське середовище від давачів об'єднуються з даними від підприємства (наприклад проектні специфікації). Міські виробничі дані можуть об'єднуватися і з іншими даними, наприклад, з журналами скарг клієнтів;



3. Інтеграція. Давачі передають дані в цифровий світ за допомогою технології інтеграції, яка включає в себе інтерфейси зв'язку, перетворювачі інформації, засоби забезпечення безпеки.

4. Аналітика. Методи аналітики використовується для виявлення відхилень від оптимального режиму, а також для отримання нової інформації використовуючи потужні статистичні алгоритми, в т.ч. алгоритми прогнозування.

5. Цифровий двійник. Система цифрового двійника – це програмне забезпечення, яке об'єднує перераховані вище компоненти в цифрову модель фізичного світу в місті або процесу, практично в реальному часі. Метою цифрового двійника є виявлення неприпустимих відхилень від оптимальних умов за допомогою одного з різних вимірів і вироблення керуючих впливів щоб уникнути їх.

6. Виконавчі механізми. За допомогою виконавчих механізмів відбувається управлінський вплив.

## **2.2 Процес створення цифрового двійника в міському середовищі**

Процес проектування та інформаційні вимоги. Створення цифрового двійника в міському середовищі – складний процес який охоплює дві основні проблеми: [43]

1. Розробка цифрових процесів та інформаційних вимог в життєвому циклі продукту в міському середовищі – від проектування виробу до використання в реальних міських умовах і обслуговування виробу.

2. Створення сприятливої технології для інтеграції фізичного об'єкта в міське середовище і його цифрового двійника, як в реальному часі так і оперативної і транзакційної інформації з основних міських систем.

Першим етапом створення цифрового двійника в міському середовищі є проектування процесу. На цьому етапі виконуються наступні операції:

1. Застосування стандартних методів проектування процесів для демонстрації взаємодії бізнес-процесів, людей, бізнес-застосунків в середовищі «розумного міста».

2. Створення діаграм зв'язку потоку процесу і бізнес-застосунків.

3. Визначення атрибутів впливають на вартість, час створення і ефективність виробів.

На другому етапі необхідно зробити акцент на видах інформації в міському середовищі:

1. Визначити, яка інформація буде потрібною протягом всього життєвого циклу продукту в міському середовищі.

2. Створити канонічну модель даних, що представляє собою загальну структуру даних для всього підприємства. Створення канонічної моделі даних дозволить різним міським застосункам і системам інтегруватися з цифровим двійником в «розумному місті». Необхідно щоб модель була якомога більш повна, тоді можна зменшити обсяг інформації яка буде зберігатися за межами цифрового двійника. Це дозволить муніципалітету використовувати цифрового двійника різними способами з великою гнучкістю, так як він інтегрований з міським середовищем, але не переобтяжений ним. [44]

### **2.2.1 Концептуальна архітектура міського цифрового двійника**

Розглянемо концептуальну архітектуру міського цифрового двійника, яка подана на рисунку 2.2. Архітектура відображає взаємодію компонентів, які складають цифрову модель виробничого процесу в міському середовищі і компонентів, які беруть участь у фізичному процесі. Компоненти взаємодіють через комунікаційні інтерфейси, які перетворюють дані, а також забезпечують необхідний рівень безпеки, реалізуючи різні протоколи ідентифікації, аутентифікації і авторизації.

Розглянемо кроки та основні етапи опрацювання інформації в концептуальній архітектурі міського цифрового двійника:

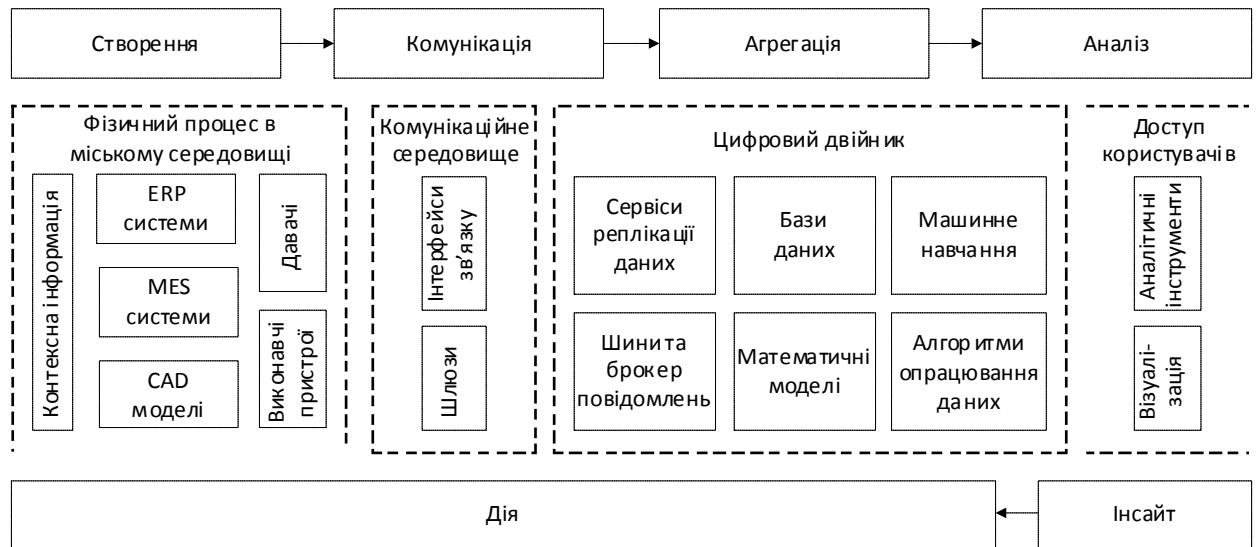


Рисунок 1.2 – Концептуальна модель міського цифрового двійника

1. Створення. На цьому етапі відбувається супровід фізичного процесу множиною датчиків, які вимірюють критичні дані від інтегрованого в міське середовище фізичного процесу і його оточення. Сигнали від датчиків можуть бути доповнені інформацією про рух з таких систем, як системи управління виробництвом, системи планування ресурсів міста, моделі систем автоматизованого проектування і системи ланцюжків поставок. Вимірювання зроблені за допомогою датчиків можна розділити на кілька категорій [45]:

- Експлуатаційні вимірювання, що відносяться до фізичної продуктивності об'єкта в «розумному місті».
- Контекстні дані, що містять відомості про міське середовище або інші зовнішні дані, що впливають на роботу фізичного об'єкта.

1. Комунікація. На цьому етапі забезпечується двонаправлена інтеграція в реальному часі між фізичним процесом і цифровою платформою «розумного міста». Можна виділити 3 основні компоненти для забезпечення комунікації:

– Шлюзи. Тут відбувається з'єднання давачів, обробка сигналів і передача їх даних на інформаційно-технологічну платформу «розумного міста». Це служить для перетворення пропріетарних протоколів в більш зрозумілі формати даних, а також для зменшення мережевого взаємодії.

– Інтерфейси зв'язку. Тут відбувається передача даних по мережі, так як теоретично давач, з якого знімаються дані, може бути розміщений в будь-якому місці «розумного міста», в залежності від розглянутої конфігурації цифрового двійника: всередині приміщення, будинку, і безлічі інших місць.

– Безпека. Використання брандмауери, ключі застосунків, шифрування і сертифікати дозволяють забезпечити необхідний рівень безпеки «розумного міста». Потреба в нових рішеннях для безпечної інтеграції цифрових двійників буде ставати все більш актуальною з ростом кількості доступних об'єктів по протоколу TCP/IP.

2. Агрегація. На етапі агрегації відбувається завантаження даних в муніципальне сховище даних, їх обробка та підготовка для аналітичного опрацювання. За останні кілька років технологічні області, що забезпечують агрегацію і опрацювання даних, зазнали величезних змін і дозволили розробникам створювати масштабовані міські інформаційно-технологічні архітектури з більшою гнучкістю і меншими витратами в минулому.

3. Аналіз: На етапі аналізу дані, крім аналізу даних, відбувається їх візуалізація. Інтеграція з міськими аналітичними платформами дозволяє фахівцям з обробки даних розробляти моделі, на основі яких генеруються рекомендації, службові інструкції для прийняття рішень.

4. Інсайт. Під час інсайту аналітичні дані представляються через міські інформаційні панелі («dashboard»), які роблять акцент на неприпустимих відмінностях в продуктивності цифрової моделі двійника і аналога фізичного міського середовища в одному або декількох вимірах, вказуючи області, які потенційно потребують дослідження і зміни.

5. Дія. На цьому етапі висновки з попередніх кроків можуть бути застосовані до фізичного об'єкту. Аналітичні дані проходять через декодери, а потім передаються до виконавчих механізмів об'єкта інтегрованого в середовище «розумного міста», які відповідають за переміщення або дії, що управляють, або оновлюються в серверних системах, які контролюють ланцюжка поставок. Ця взаємодія завершує замкнений зв'язок між фізичним міським процесом і цифровим двійником.

Розглянута концептуальна архітектура повинна розроблятися з урахуванням наступних властивостей розподілених систем управління «розумного міста»:

1. Спільне використання доступних міських ресурсів.
2. Відкритість.
3. Паралельність.
4. Масштабованість.
5. Стійкість до відмов.
6. Прозорість.

### **2.2.2 Цифровий потік в інформаційному середовищі «розумного міста»**

Одне з понять пов'язаних з «розумним» міським цифровим двійником – це поняття «цифрового потоку». Цифровий потік являє собою безперервний ланцюжок даних, який пов'язує кожну стадію життєвого циклу продукту від проектування, до експлуатації в міських умовах. Цифровий потік забезпечує канал, по якому переміщуються дані про продукт або процес в міському середовищі. Виконання операцій зберігання, швидкого доступу, моделювання та аналізу над такими даними – це те, що дозволяє моделювати виробництво і забезпечує ефективний зв'язок по ланцюжку поставок в «розумному місті». [46]

Цифровий двійник – це динамічна модель продукту або процесу в «розумному місті», метою якого є оптимізація ефективності. Цифровий потік в значній мірі забезпечує постачання даних необхідні моделі для їх оновлення. Аналітичне опрацювання виконане над цифровим двійником, в свою чергу, може змінити цифровий потік для майбутніх ітерацій даного об'єкту інформаційному середовищі «розумного міста». [47]

### **2.2.3 Оптимальний підхід до побудови «розумного» цифрового двійника**

Основна проблема в процесі створення «розумного» цифрового двійника може полягати у визначенні оптимального рівня деталізації при створенні цифрової моделі. Хоча надмірно спрощена модель може не принести цінності, очікуваної від «розумного» цифрового двійника, занадто складний підхід може гарантувати перемноження складності мільйонів давачів, сотень мільйонів сигналів, створюваних давачами, і величезної кількості технологій в середовищі «розумного міста». Отже, дуже спрощений або занадто складний підхід може нівелювати імпульс для просування вперед. Нижче наведено ключові етапи побудови «розумного» цифрового двійника:

1. Етап створення сценаріїв. На цьому етапі складається список сценаріїв, які могли б забезпечити переваги при реалізації «розумного» цифрового двійника. Правильний сценарій може відрізнитися для кожної організації, але повинен мати наступні дві ключові характеристики:

– Розглянутий продукт або виробничий процес в «розумному місті» є досить цінним для того, щоб інвестувати в створення цифрового двійника.

– Чи існують невирішені, незрозумілі проблеми, пов'язані з процесами або продуктами, які потенційно можуть применшити цінність як для жителів міста, так і для муніципальних установ.

2. Етап ідентифікації процесу. На цьому етапі відбувається визначення конфігурації пілотної системи «розумного» цифрового двійника, яка матиме найкращі шанси на успіх. При ідентифікації процесу необхідно враховувати управління операційними, діловими та організаційними моментами.

3. Етап створення пілотної версії «розумної» системи. При створенні програмного продукту пілотної версії системи «розумного» цифрового двійника в проекті «розумного міста» необхідно використовувати ітеративні і гнучкі цикли розробки, щоб прискорити процес розробки і ефективно управляти ризиками і максимізувати повернення первісних інвестицій. Пілотна версія «розумного» цифрового двійника може охоплювати підмножину бізнес-підрозділів або продуктів для обмеженої предметної області «розумного міста», але з можливістю показати цінність для всього міста. У міру того, як йде розробка пілотної програми, команда повинна підтримувати адаптивність – в будь-який час підтримувати відкриту і незалежну систему, яка дозволить проводити інтеграцію з новими структурованими і неструктурованими даними і використовувати нові технології або шаблони інтеграції в середовище «розумного міста».

4. Етап масштабування. У разі успіху пілотної версії «розумної» міської системи необхідно визначити можливості для масштабування цифрового двійника і адаптувати систему для суміжних процесів у проекті «розумного міста».

### **2.3 Процес прийняття муніципальних рішень на основі цифрового двійника**

Багато функцій «розумних» цифрових двійників інтегрованих в середовище «розумного міста» спрямовані на оптимізацію управління та прийняття рішень, зокрема:

1. Виявлення відхилень поточної роботи обладнання від оптимального режиму.
2. Виявлення надзвичайних ситуацій в міському середовищі.
3. Оповіщення жителів міста щодо події та ситуації.
4. Аналіз причин відхилень.

Ця функціональність дозволяє:

1. Виявити на ранній стадії незначні зміни в міському середовищі, які в результаті можуть призвести до серйозних пошкоджень і незапланованих подій.

2. Знизити ризик виходу із ладу інтегрованого в середовище «розумного міста» обладнання, вузлів і агрегатів за рахунок випереджаючої діагностики;

3. Попереднє сповіщати жителів та гостей міста про потенційну загрозу небезпечних ситуацій, що виникнуть внаслідок виходу з ладу інтегрованого в міське середовище критичного обладнання.

4. Скоротити час незапланованих простоїв міського обладнання, пов'язаних з його раптовою поломкою завдяки ранньому попередженню та своєчасного замовленню запасних частин;

5. Зменшити навантаження на міський обслуговуючий персонал, повертаючи увагу операторів тільки до статистично значущим відхилень параметрів.

Процес прийняття рішень при використанні інтегрованих в міське середовище цифрових двійників поданий на рисунку 2.3.

Таким чином, процес моніторингу та діагностики міського обладнання включає в себе різні виробничі одиниці від оператора і муніципальної служби до аналітиків і експертів на рівні основних муніципальних установ та міської адміністрації. [48]



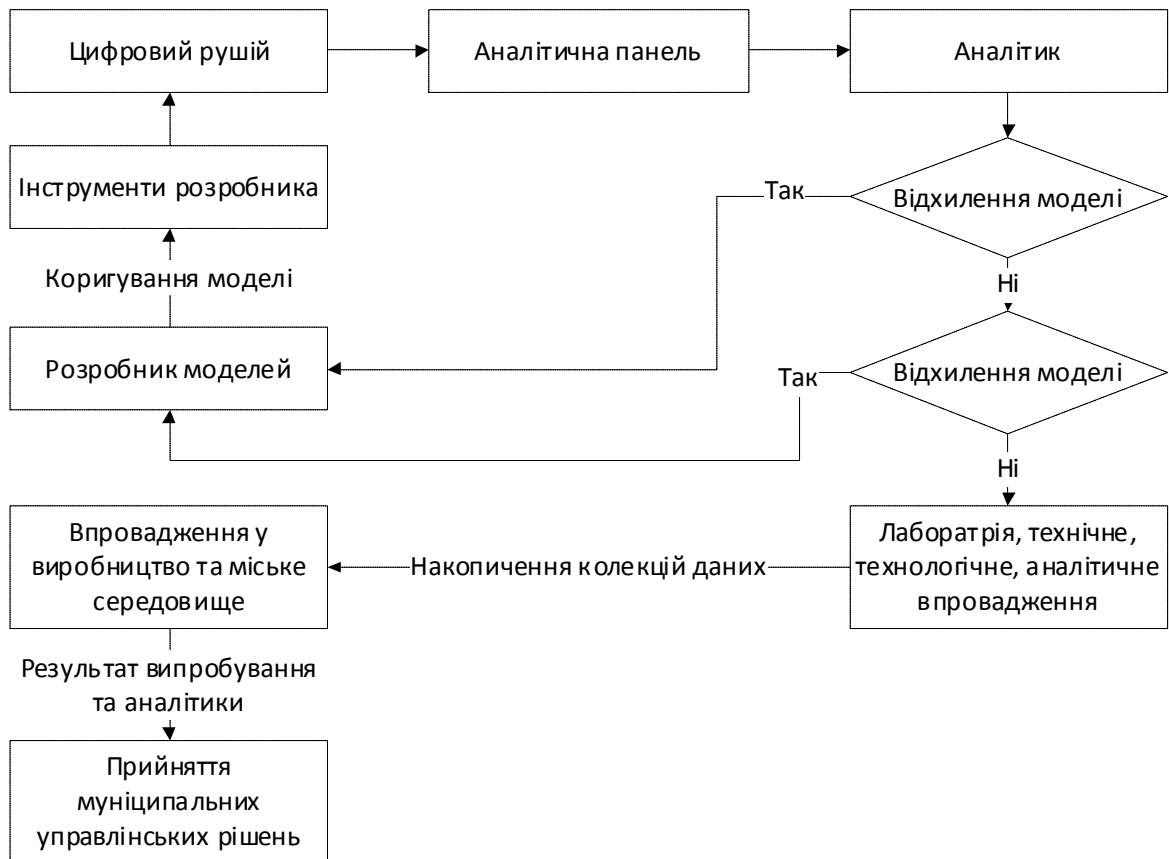


Рисунок 2.3 – Комбінована схема процесу прийняття рішення

## 2.4 Загальна архітектура «розумного» цифрового двійника

Розглянемо цифровий двійник, як багатошарову систему:

1. Кібер-фізичний шар.
2. Шар первинної обробки даних і зберігання.
3. Шар розподілених обчислень і зберігання.
4. Шар моделей і алгоритмів.
5. Шар візуалізації і призначеного для користувача інтерфейсу.

На Рисунку 2.4 подана структурна схема цифрового двійника.

Розглянемо кожен шар докладніше:

1. Кібер-фізичний шар: На цьому рівні виконується стабілізація режимних параметрів і програмно-логічне управління об'єктом інтегрованим в міське середовище, який може бути представлений окремими установками або технологічним процесом. [49]

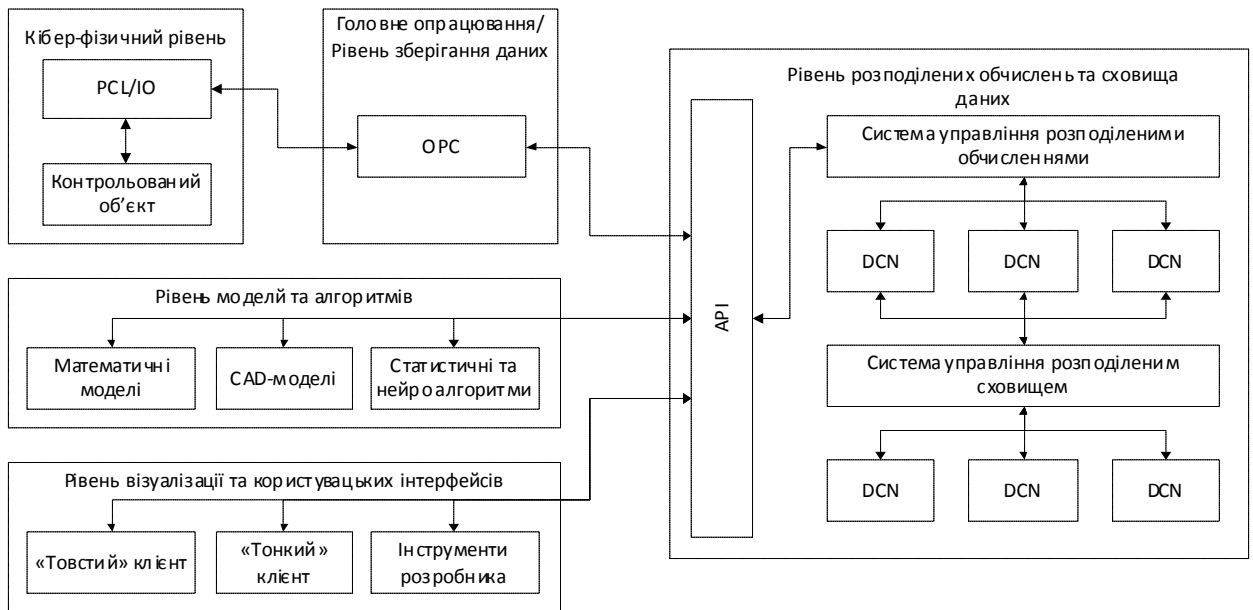


Рисунок 2.4 – Структурна схема цифрового двійника

2. Шар первинної обробки даних і зберігання: На цьому рівні відбувається збір даних з інтегрованих в міське середовище пристроїв, представлених кібер-фізичним рівнем, і їх первинна обробка (наприклад: конвертація вимірних величин) та тимчасове зберігання (наприклад: до моменту передачі на наступний шар). Цей шар може бути представлений реалізацією «ОРС».

### 3. Шар розподілених обчислень і зберігання:

Даний рівень – це ядро «розумного» цифрового двійника. Цей рівень складається з декількох частин:

- API через який може здійснюватися взаємодія відразу з безліччю шарів по одному або декількох протоколах зв'язку, зокрема: «TCP», «HTTP», «WebSocket». [50]

- Система управління розподіленими обчисленнями, яка розбиває завдання (наприклад: прогнозування технологічних відхилень), на множину складових задач і відправляє на виконання обчислювальних вузлів, після – збирає результати обчислень, тим самим реалізуючи концепцію «розумних» паралельних обчислень для обробки великих обсягів даних.

– Система управління розподіленим сховищем забезпечує зберігання технологічних даних, майстер даних, результатів аналізу та прогнозування в розподіленій БД («DDB»). Може бути представлена різними РСУБД «SQL», «NoSQL», «TSDB» тощо. Для зберігання даних різної природи. Наприклад, для зберігання періодичних даних отриманих з різних датчиків можна використовувати «Apache Cassandra». [51]

4. Шар моделей і алгоритмів. На цьому рівні зберігаються точні математичні моделі інтегрованих в міське середовище об'єктів управління, що прогнозують моделі, CAD-моделі, статистичні та нейроалгоритми в форматах бібліотек, фреймворків, CAD-креслень. [52]

5. Шар візуалізації і користувацьких інтерфейсів. Цей рівень забезпечує доступ користувачів «розумного міста» до цифрового двійника за допомогою графічних користувацьких інтерфейсів і може складатися з:

– Товстий клієнт реалізує інтерфейс АРМ-екранів у вигляді технологічних мнемосхем для персоналу та адміністрації «розумного міста». Клієнт може бути представлений у вигляді: «SCADA» або «HMI».

– Тонкий клієнт (наприклад, веб-застосунок) реалізує для муніципальних експертів інтерфейс аналітичних засобів.

6. Інструменти розробника – реалізують інструментарій для розробки «розумних» моделей та алгоритмів. Може бути поданий у формі окремого спеціалізованого застосунку.

## **2.5 Цифровий двійник як система опрацювання «Великих даних» «розумного міста»**

Одна з внутрішніх функцій цифрового двійника – це опрацювання великих обсягів даних, тому важливо при проектуванні програмного забезпечення цифрового двійника закладати принципи опрацювання, зберігання та аналізу «Великих даних» «розумного міста». Архітектура шару

опрацювання «Великих даних» цифрового двійника повинна дозволяти приймати, обробляти, зберігати, аналізувати дані, які є занадто об'ємними або занадто складними для традиційних систем управління базами даних. Дані, якими управляє «розумний» міський цифровий двійник можна розділити на дві категорії: [53]

1. Швидкоплинні потоки даних. Ці дані потрібно постійно переглядати та оновлювати. Наприклад показники вимірів давачів інтегрованих в міське середовище.

2. Повільні дані. Ці дані надходять великими за обсягом блоками. Наприклад історичні міські логи, журнали і т.п.

У «розумному» міському цифровому двійнику обробка «великих даних» використовується для:

1. Запису, опрацювання і аналізу потоків міських даних в режимі реального часу.

2. Зберігання та аналізу неструктурованих міських колекцій даних. Наприклад для створення звітів.

### **2.5.1 Узагальнена архітектура опрацювання «великих даних» у системах класу «розумне місто»**

Розглянемо компоненти архітектури:

1. Джерела даних: джерел даних може бути кілька. Вони можуть бути представлені різними програмними або апаратними одиницями. Наприклад, устаткування з передачею в режимі реального часу, статичні файли (логи, журнали), сховища даних (бази даних).

2. Сховище даних, котре зазвичай являє собою розподілене сховище даних.

3. Система прийому повідомлень, котра містить брокер повідомлень та чергу повідомлень: здійснює збір повідомлень від міських джерел даних в режимі реального часу для подальшої потокової обробки.

4. Система пакетної обробки даних: здійснює пакетну обробку «Великих даних» «розумного міста», зокрема статистичне опрацювання, підготовку даних до аналізу, тощо.

5. Система опрацювання поточкових даних «розумного міста» здійснює опрацювання неприв'язаних поточкових даних в режимі реального часу або з невеликою затримкою.

6. Сховище аналітичних даних містить підготовлені міські дані для аналітичних застосунків «розумного міста». Може бути як реляційною так і не реляційною базою даних.

7. Система аналітичного опрацювання та створення звітів надає інтерфейси для проведення аналітичного опрацювання, формування та створення звітів.

8. Система управління потоками даних, автоматизує типові робочі процеси.

9. Система машинного навчання. Використовується для навчання моделей на основі даних «розумної» міської системи. Може використовувати поточкові дані «розумного міста» для створення прогнозів режимі реального часу. Процес навчання відбувається в режимі пакетної обробки «Великих даних». [54]

Архітектура побудована за допомогою перелічених компонентів подана на рисунку 2.5.

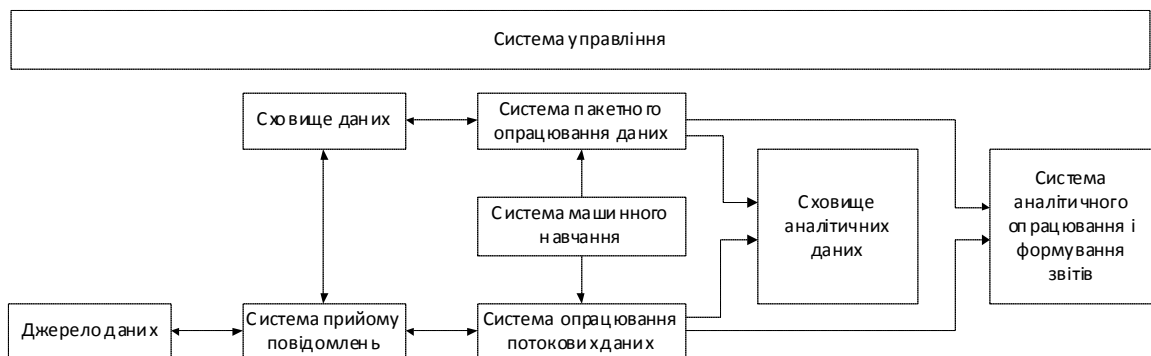


Рисунок 2.5 – Узагальнена архітектура обробки «Великих даних» «розумного міста»

Система може складатися як з частини описаних компонентів, так і використовувати інші компоненти. Проведемо аналіз типових архітектур застосовних для опрацювання «Великих даних» в проектах класу «розумне місто».

### **2.5.2 Лямбда-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті»**

Багато запитів при роботі з «Великими даними» в умовах «розумного міста» потребують багато часу на виконання і спеціалізованих алгоритмів опрацювання даних, наприклад «MapReduce». Вагомим недоліком є великий час виконання запитів. Часто такі запити можуть виконуватися декілька годин. Потрібно підвищити час виконання запитів, наприклад, за рахунок втрати точності, щоб отримувати якомога актуальніші результати.

Підхід з використанням лямбда-архітектури опрацювання «Великих даних» в «розумному місті» усуває цю проблему шляхом створення двох шляхів для потоку даних:

1. Холодний шлях, або так званий «пакетний рівень». Над даними виконується пакетна обробка, результат якої записується в пакетне уявлення. Дані цього рівня поставляються для рівня обслуговування, в якому відбувається їх індексація.

2. Критичний шлях, або так званий «швидкісний рівень». Дані обробляються в режимі реального часу. Дані на цьому рівні також надходять на рівень обслуговування, доповнюючи існуючі дані колекціями актуальних міських даних.

На Рисунку 2.6 подана лямбда-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті». Рівень прискорення накладає обмеження на затримку даних, що надходять критичний шлях.

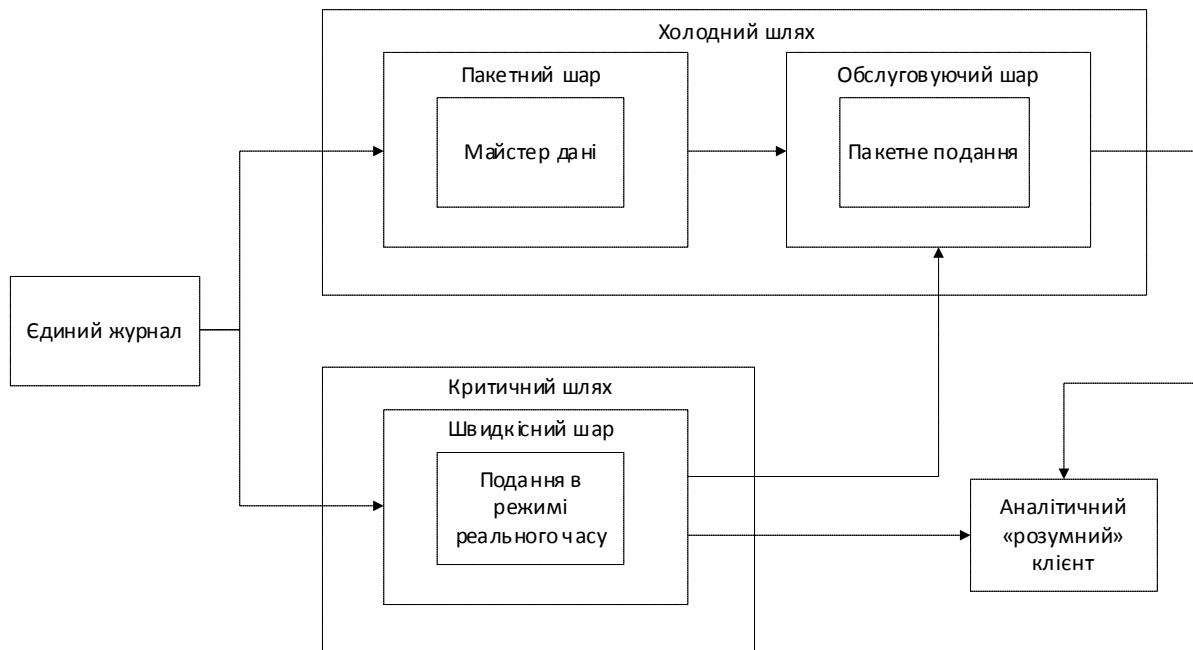


Рисунок 2.6 – Лямбда архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті»

Холодний шлях не накладає обмеження щодо затримки міських даних, тому можна збільшити точність обчислення міських наборів «Великих даних» за рахунок втрати часу і збільшення затримки. [55]

В кінцевому рахунку дані з критичного і холодного шляху об'єднуються в «розумному» аналітичному застосунку. Можливі сценарії:

1. Необхідно відобразити дані з малою затримкою або в реальному режимі часу, але з меншою точністю.

2. Необхідно відобразити точні дані жертвуючи часом. У першому випадку в аналітичний застосунок результати будуть надходити з критичного шляху, у другому – з холодного. В «розумному» аналітичному застосунку результати опрацювання даних з критичного шляху можуть бути доповнені більш точними результатами опрацювання даних з холодного шляху по мірі їх готовності.

Проведені аналіз або обчислення можна виконати повторно в будь-який момент, так як дані, що зберігається на пакетному рівні – незмінні. Всі

нові вхідні дані додаються до існуючих колекцій «розумного міста». Всі зміни поточних даних є новими записами з певним часом додавання.

Незважаючи на те, що лямбда-архітектура вирішує проблему довгого виконання запитів, у неї є великий недолік – висока складність, так як обробка міських колекцій даних ведеться в різних місцях – в холодному і в критичному шляху, в яких використовуються різні обчислювальні алгоритми та структури. Ці недоліки усунуті в каппа-архітектурі, розглянутій в наступному параграфі.

### 2.5.3 Каппа-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті»

Каппа-архітектура має таку ж мету, що і лямбда-архітектура, але об'єднує критичний і гарячий шлях, використовуючи систему опрацювання поточних міських даних. В результаті всі дані проходять по одному шляху. На рисунку 2.7 подана каппа-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті».



Рисунок 2.7 – Каппа-архітектура опрацювання «Великих даних» в «розумному місті»



Аналогічно до лямбда-архітектури, дані зберігаються в незмінному вигляді. Але всі дані збираються у відмовостійкості єдиному журналі. Опрацювання відбувається у вхідному потоці. Всі результати зберігаються в режимі реального часу у вигляді окремого представлення. Щоб виконати повторне опрацювання, необхідно відновити (відтворити) потік. [56]

#### 2.5.4 Пакедне опрацювання «Великих даних» у «розумному місті»

Розглянемо окремо архітектуру опрацювання пакетних «Великих даних» у «розумному місті». В цьому випадку робочі процеси системи управління виконують такі дії:

1. Завантаження вихідних колекцій даних у сховище «розумного міста».
2. Ініціалізація опрацювання даних;

Опрацювання даних ведеться паралельно. Перетворені в результати опрацювання колекції міських «Великих даних» будуть завантажені в сховище аналітичних даних. На рисунку 2.8 подана архітектура міської системи пакетного опрацювання даних.

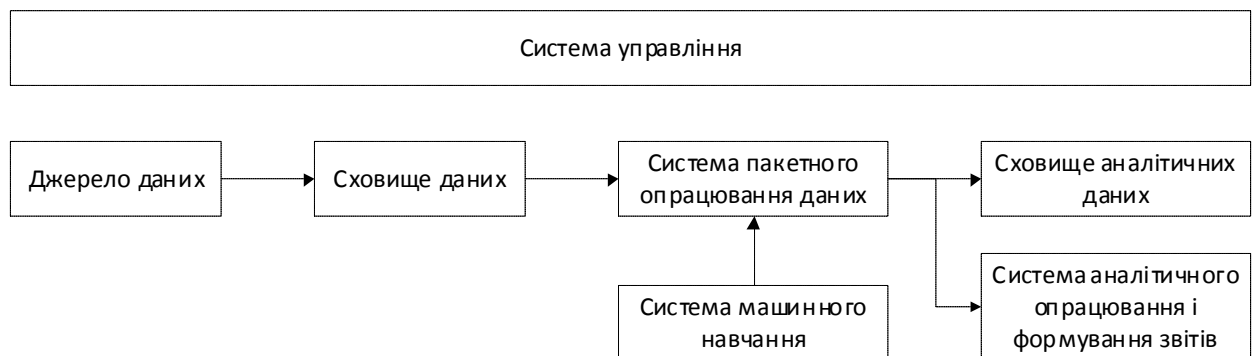


Рисунок 2.8 – Архітектура системи пакетного опрацювання «Великих даних» у «розумному місті»

#### 2.5.5 Поточкове опрацювання «Великих даних» у «розумному місті»

Розглянемо окремо архітектуру потокового опрацювання «Великих даних» в «розумному місті» в режимі реального часу. Потік міських даних

являє собою набір неструктурованих або слабоструктурованих даних. Для цієї архітектури аналітичного опрацювання «Великих даних» накладається часове обмеження у розмірі декілька мілісекунд для опрацювання неприв'язаного потоку вхідних даних. [57]

Після опрацювання даних, результати зберігаються в сховищі аналітичних даних.

Окремо доступна можливість приймати дані безпосередньо в аналітичному застосунку або в застосунку муніципального оператора. Архітектура опрацювання поточкових колекцій міських «Великих даних» подана на рисунку 2.9.

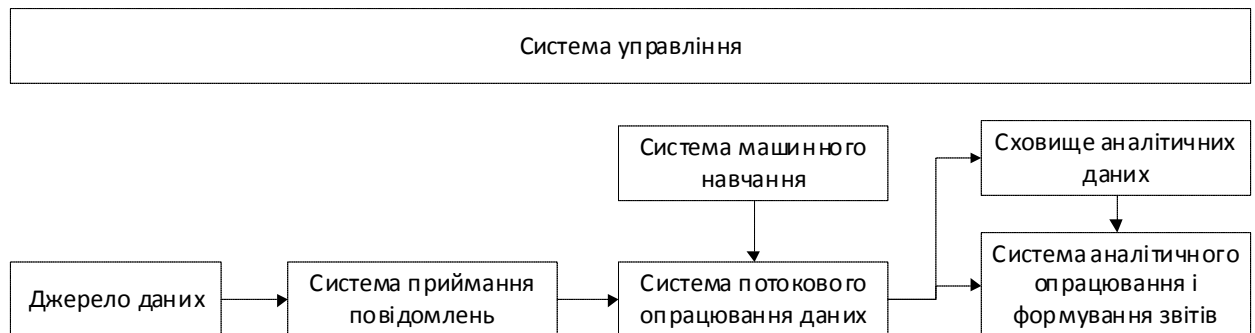


Рисунок 2.9 – Архітектура потокового опрацювання міських даних

Однією з особливостей архітектури потокового опрацювання міських даних є надання можливості прийому і опрацювання повідомлень в режимі реального часу.

Обов'язковою умовою є відсутність блокування конвеєра прийому даних. Для забезпечення цієї умови архітектура потокового опрацювання «Великих даних» в «розумному місті» повинна включати систему прийому повідомлень, яка може бути спеціалізованим брокером повідомлень. Брокер повідомлень повинен відповідати наступним вимогам:

1. Підтримувати масштабоване опрацювання.
2. Забезпечувати надійну доставку даних та повідомлень.

## 2.6 Архітектура міського цифрового двійника

У попередніх розділах були розглянуті архітектури для опрацювання «Великих даних» для побудови інформаційно-технологічної платформи цифрового двійника у «розумному місті». Але подані архітектурні рішення не повністю відображають всі функціональні можливості цифрового двійника в міському середовищі пов'язані з підключенням фізичних виробничих пристроїв інтегрованих в міське середовище.

З перелічених нижче компонентів «Інтернету речей» і розглянутих вище архітектурних інформаційно-технологічних рішень для обробки «Великих даних» отримаємо архітектуру програми цифрового двійника для інтеграції в середовище «розумного міста» подану на рисунку 2.10.

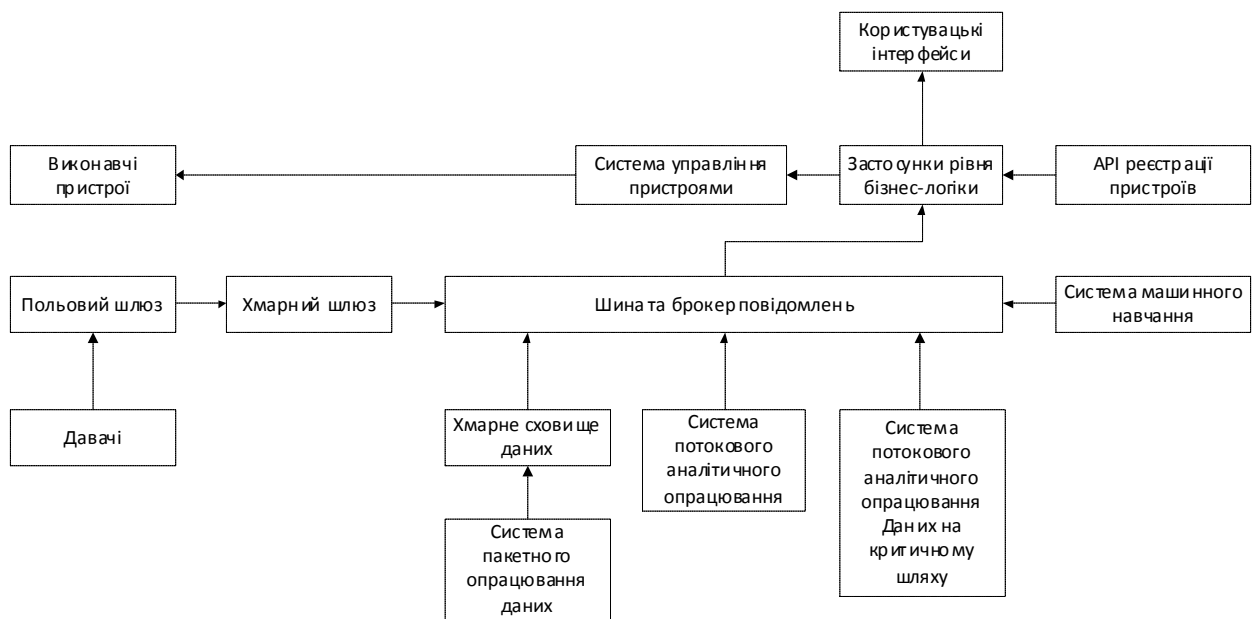


Рисунок 2.10 – Архітектура програмної реалізації цифрового двійника в «розумному місті»

В архітектурних рішеннях на основі інформаційних технологій «Інтернету речей» для підключення пристроїв використовуються наступні компоненти:

1. Хмарний шлюз – система прийому повідомлення з низькою затримкою реалізована засобами хмарної інформаційно-технологічної платформи «розумного міста».

2. Польовий шлюз. Програмно-апаратний комплекс для первинної обробки даних з фізичних пристроїв інтегрованих в міське середовище. Приймає та обробляє дані отримані від інтегрованих в міське середовище пристроїв і передає їх в хмарний шлюз.

3. API реєстрації пристроїв – прикладні програмні інтерфейси для управління пристроями в реєстрі пристроїв «розумного міста». Дозволяє додавати, видаляти та змінювати облікові записи пристроїв в міському реєстрі.

4. Реєстр пристроїв – база даних пристроїв в системі «розумного міста». Містить ідентифікатори пристроїв та відповідну мета-інформацію.

## **2.7 Алгоритмічна динамічна трансформація часової шкали в «розумному місті»**

Одним із завдань в міській системі цифрових двійників є аналіз часових послідовностей. Для цього використовується динамічний алгоритм трансформації часової шкали («DTW»), за допомогою якого можна знайти оптимальну відповідність між часовими послідовностями. Зазначений алгоритм буде використовуватися з метою демонстрації можливостей розробленої для потреб «розумного міста» архітектури цифрового двійника.

Для порівняння двох часових рядів отриманих з набору міських даних вирівняних по осі X можна обчислити евклідову відстань між компонентами послідовностей. Здебільшого часові послідовності отримані з міського середовища мають схожі форми, але не вирівняні по осі X. Розглянутий алгоритм пропонує «деформувати» вісь часу X однієї з послідовностей,

тим самим вирівнюючи послідовності. [58] Виконується «деформація» обидвох осей. Наприклад, розглянемо часові ряди:

$$Q = q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n \quad (2.1)$$

$$C = c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m \quad (2.2)$$

1. Будується матриця відстаней  $D$  розмірністю  $m \times n$ , де  $d_{ij}$  – відстань між точками  $q_i$  і  $c_j$ . Буде використано евклідову відстань  $d(q_i, c_j) = |q_i - c_j|$ .

2. Побудована матриця трансформується з матриці  $D$ . Елементи матриці:

$$D_{ij} = d_{ij} + \min(D_{i-1,j}, D_{i-1,j-1}, D_{i,j-1}). \quad (2.3)$$

3. Будується шлях трансформації:

$$W = \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k, \dots, \omega_K; \max(m, n) \leq K < m + n, \quad (2.4)$$

де  $\omega_k = (i, j)_k$   $d(\omega_k) = d(q_i, c_j) = (q_i - c_j)^2$ .

На шлях трансформації накладаються граничні умови:

– Граничні умови:  $\omega_1 = (1, 1)$  и  $\omega_k = (n, m)$ ;

– Безперервність: два будь-яких суміжних елемента  $W$  повинні задовольняти нерівності:

$$\omega_i - \omega_{i+1} \leq 1 \quad \text{і} \quad \omega_j - \omega_{j+1} \leq 1; \quad (2.5)$$

– Монотонність: два будь-яких суміжних елемента повинні задовольняти нерівності:  $\omega_i - \omega_{i-1} \geq 0$  і  $\omega_j - \omega_{j-1} \geq 0$ ;

Необхідно так підібрати шлях трансформації, щоб мінімізувати його ціну – DTW відстань:

$$DTW(Q, C) = \min \left\{ \frac{\sum_{k=1}^K d(w_k)}{K} \right\} \quad (2.6)$$

## 2.8 Висновки до другого розділу

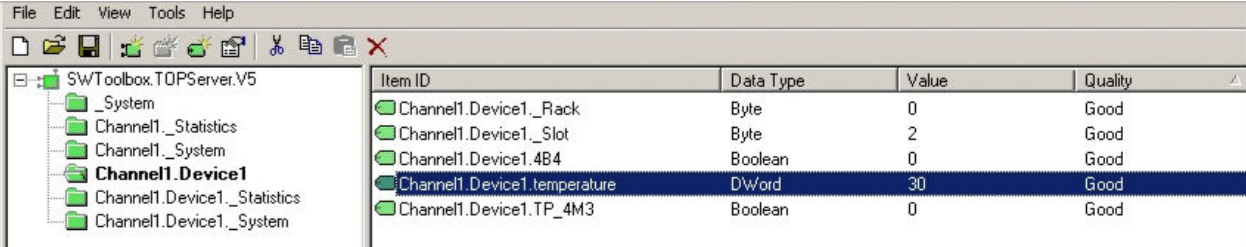
В цьому розділі цифровий двійник був розглянутий як система обробки «Великих даних» в сучасних проектах «розумних міст». Розглянуто різні архітектурні рішення спрямовані на опрацювання міських колекцій «Великих даних». На основі інформаційних технологій «Великих даних» та компонентів «Інтернету речей» розроблена універсальна архітектура застосунків цифрових двійників для проектів класу «розумне місто». Подано теоретичні викладки алгоритму динамічної трансформації часової шкали, який буде використовуватися для пакетного опрацювання даних в застосунку цифрового двійника в «розумному місті».

## 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ «РОЗУМНИХ МІСТ»

### 3.1 Використовувані апаратно-програмні засоби хмарної платформи «розумного міста»

Для реалізація компонентів інформаційно-технологічної платформи цифрового двійника в проектах класу «розумне місто» відповідно до запропонованої в попередньому розділі архітектурі обрано технології:

1. «Apache Kafka» – в якості брокера повідомлень. [59]
2. «Python 3.6» – для реалізації пакетного опрацювання міських даних, з модулем «PySpark» для пакетного опрацювання міських даних (реалізації алгоритму аналізу «DTW» в кластері «Spark»). [60]
3. «NodeJS» – для реалізації програми бізнес логіки і хмарного шлюзу на базі хмарної платформи «розумного міста». [61]
4. «HTML5», «JavaScript», «highcharts» – для створення графічного інтерфейсу користувача.
5. «Amazon WS» («AWS») – в якості хмарної інформаційно-технологічної платформи «розумного міста». [62]
6. «NodeJS» – для реалізації польового шлюзу з модулем «WinCC» для підключення до «OPC»-сервера «WinCC» (див. рисунок 3.1). [63]



Item ID	Data Type	Value	Quality
Channel1.Device1._Rack	Byte	0	Good
Channel1.Device1._Slot	Byte	2	Good
Channel1.Device1.4B4	Boolean	0	Good
Channel1.Device1.temperature	DWord	30	Good
Channel1.Device1.TP_4M3	Boolean	0	Good

Рисунок 3.1 – Інтерфейс клієнта «OPC»-сервера

Як джерело даних була обрана хімічна установка «Presto MFS RA», складається з чотирьох станцій:

1. «Mixing» – станція змішування реагентів.
2. «Filtration» – станція фільтрації сумішей.
3. «Reactor» – станція-реактор.
4. «Bottling» – станція розливу.

Кожна станція управляється ПЛК «Siemens Simatic S7-300», які надходять в «OPC» сервер «WinCC». Структурно-логічна схема установки описує процеси відбуваються на виробництві наведено на рисунку 3.2.

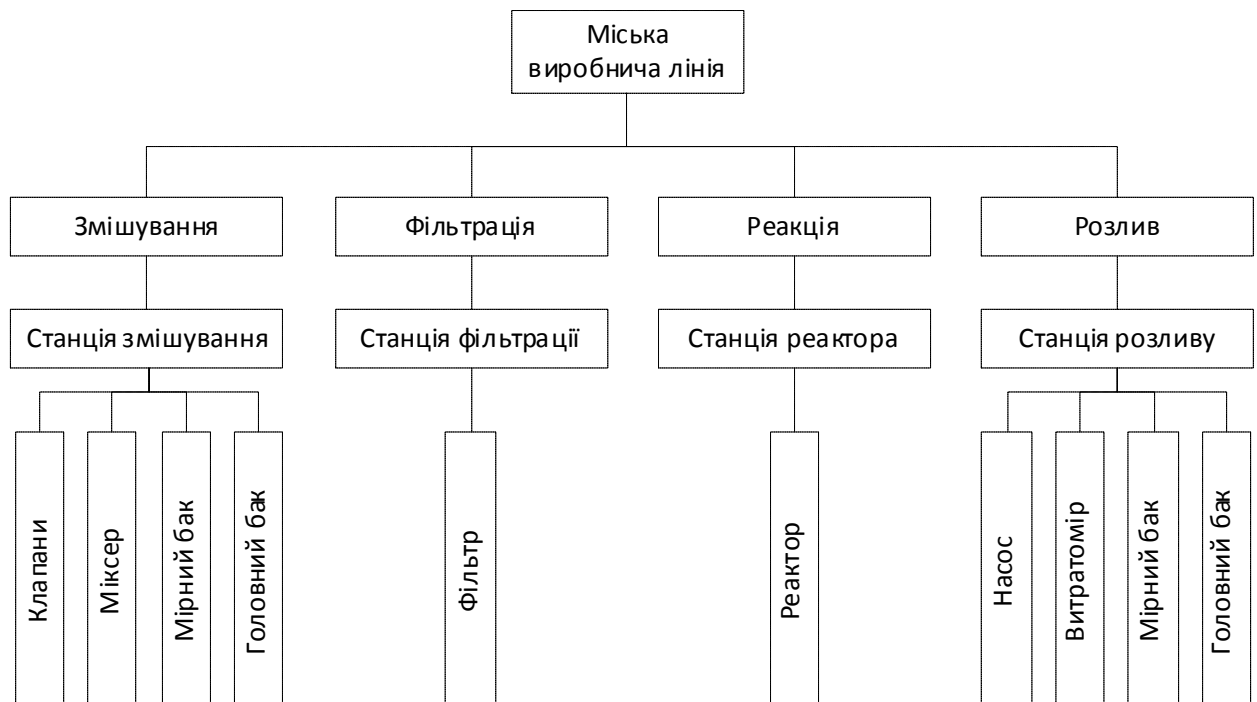


Рисунок 3.2 – Структурно-логічна схема установки для міської виробничої лінії

### 3.2 Розроблення програмного забезпечення «розумного» цифрового двійника

Розглянемо реалізацію інформаційно-технологічної платформи цифрового двійника що складається з наступних мікросервісів:

1. Брокер повідомлень.
2. Застосунок польового шлюза.



3. Застосунок хмарного шлюза.
4. Застосунок бізнес-логіки.
5. Застосунок користувацького інтерфейсу.
6. Застосунок пакетного опрацювання даних.

Мікросервіси взаємодіють між собою за допомогою програмних інтерфейсів. Кожен мікросервіс визначає свій інтерфейс і протокол спілкування. Розглянемо докладніше кожен мікросервіс.

Реалізація програмного застосунку польового шлюзу.

Застосунок польового шлюзу виконує наступні дії:

1. Зчитує дані з «OPC»-сервера.
2. Конвертує отримані дані в формат «JSON». [64]
3. Передає дані до хмарного шлюзу по протоколу «WebSocket». Блок-схема функціонування програми польового шлюзу подана на рисунку 3.3.

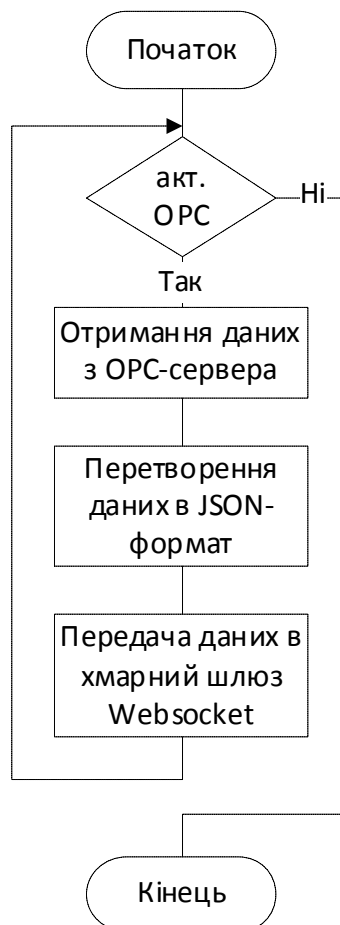


Рисунок 3.3 – Блок-схема роботи програми польового шлюзу

Дані зчитуються з «OPC»-сервера за допомогою спеціального модуля «WinCC». Далі відбувається перетворення опрацьованих даних в формат «JSON: {name: tag\_value, tag\_name}», де «tag\_name» – назва тега, «tag\_value» значення вимірної величини в одиницях виміру, що відповідають типу тега. Приклад повідомлення в форматі «JSON» подано на рисунку 3.4. Після перетворення відбувається передача даних в польовий шлюз з використанням «WebSocket». [65]

```
{  
  «name»: «TIC32»  
  «value»: 11.7  
}
```

Рисунок 3.4 – Приклад повідомлення в форматі «JSON»

Реалізація програмного застосунку для виконання функцій хмарного шлюзу. Застосунок хмарного шлюзу виконує наступні дії:

1. Приймає дані від програмного застосунку польового шлюзу по протоколу «WebSocket».
2. Перевіряє валідність даних.
3. Визначає мета-інформацію про отримані теги.
4. Передає дані до програмного застосунку брокера повідомлень.

При старті застосунок запускає «WebSocket»-сервер, який прослуховує певний порт і чекає підключення клієнтів. Після підключення клієнта, сервер очікує повідомлення. Над кожним отриманим повідомленням сервер виконує наступні дії:

1. Перевірка кодування повідомлення.
2. Видобування вмісту повідомлень.
3. Визначення метаінформації про отриманий тег, видобуваючи інформацію з конфігураційного файлу.

4. Формує повідомлення для брокера повідомлень в спеціальному форматі.

5. Відправляє повідомлення в брокер-повідомлень.

На рисунку 3.5 подана блок-схема роботи програмного застосунка для «розумного» хмарного шлюзу.

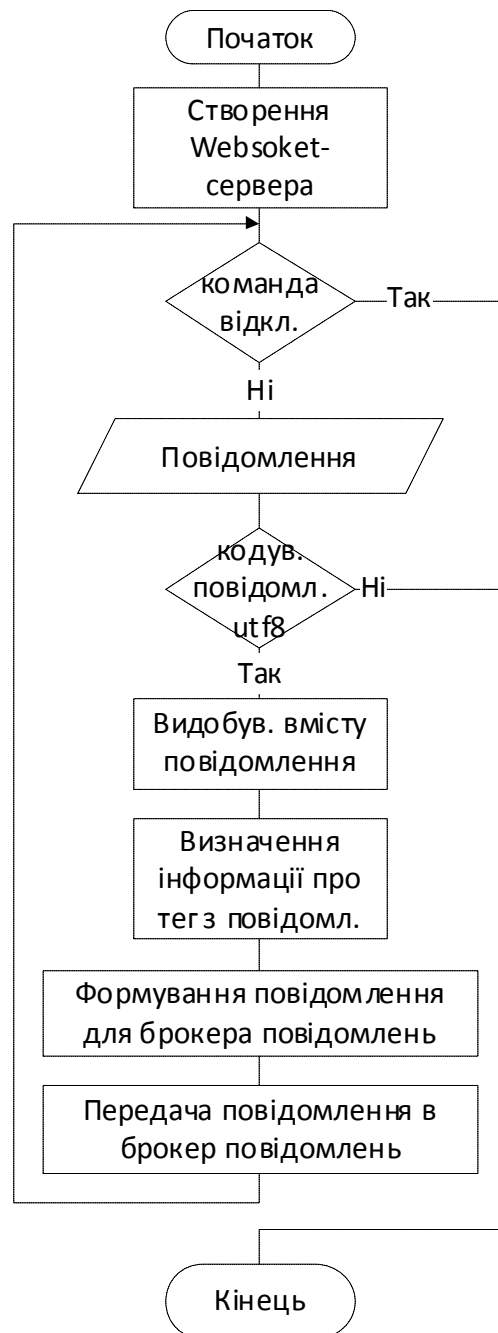


Рисунок 3.5 – Блок-схема програми «розумного» хмарного шлюзу

Конфігураційний файл містить відомості щодо кожного тега в системі в форматі «JSON», а саме:

1. Унікальному ідентифікатор тега в системі.
2. Повне найменування тега.
3. Тип.

На рисунку 3.6 подано приклад вмісту конфігураційного файлу.

```
{
  "TIC32": {
    "id": 1,
    "title": "Давач температури в баці змішування", "series": [
      {
        "type": "area",
        "name": "Фактичне значення"
      }
    ]
  },
  "LIC32": {
    "id": 2,
    "title": "Давач рівня в баці змішування", "series": [
      {
        "type": "area",
        "name": "Фактичне значення"
      }
    ]
  },
  "TIC1": {
    "id": 3,
    "title": "Давач температури в реакторі", "series": [
      {
        "type": "area",
        "name": "Фактичне значення"
      }
    ]
  }
}
>
```

Рисунок 3.6 – Приклад вмісту конфігураційного файлу

Кожен ключ відповідає окремому коду тега, відповідно до якого здійснюється доступ до інформації про нього.

Налаштування брокера повідомлень. Для реалізація брокера повідомлень був обраний програмний пакет «Apache Kafka». Розглянемо базові компоненти «Kafka», зокрема це:

1. Тема («topic») – тема повідомлення.
2. Видавці («producer») – програмні елементи та одиниці, що виробляють запис повідомлення в тему.
3. Передплатники («consumer») – програмні елементи та одиниці, що прослуховують повідомлення по темі.

На рисунку 3.7 показано зв'язок між базові компонентами «Apache kafka».

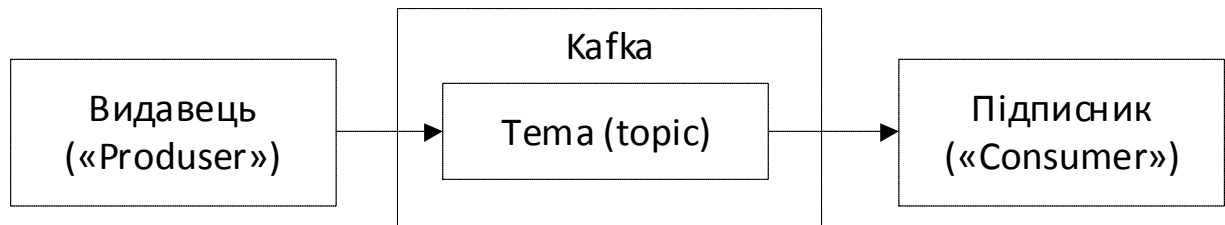


Рисунок 3.7 – Зв'язок між базовими компонентами Apache Kafka

Для реалізації системи В проектах класу «розумне місто» необхідно створити такі теми:

1. «fieldData» – тема для передачі даних з польового шлюзу. Передає виробничі дані від хмарного шлюзу.
2. «analyticsData» – тема для передачі аналітичних даних з застосунок пакетного опрацювання даних.
3. «analyticsTasks» – тема для передачі завдань для проведення пакетного аналітичного опрацювання.

Застосунок хмарного шлюзу, застосунок пакетного опрацювання даних і застосунок для користувацького інтерфейсу взаємодіють з використанням брокера повідомлень. Схема взаємодії подана на рисунку 3.8.

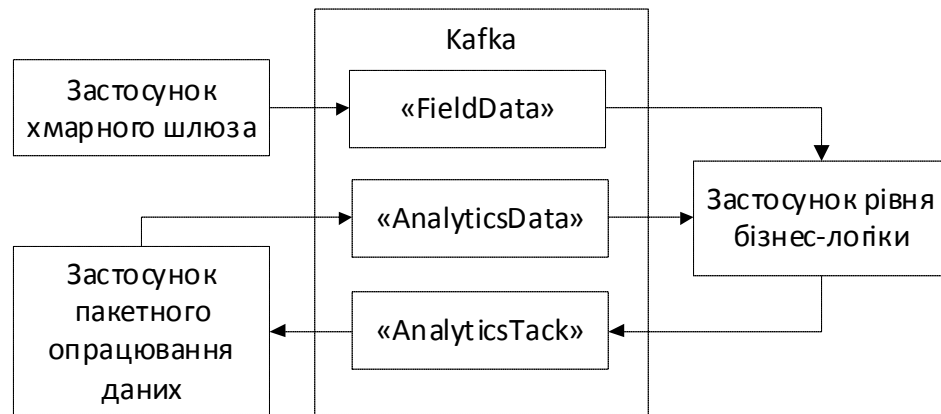


Рисунок 3.8 – Схема взаємодії між програмними елементами «розумної» системи через брокер

Реалізація програмного застосунку рівня бізнес-логіки. Програмний застосунок рівня бізнес-логіки виконує наступні дії:

1. Слухає повідомлення в брокера відповідно до наступних темат:
  - «fieldData» – для отримання робочих даних з хмарного шлюзу;
  - «analyticsData» – для отримання аналітичних даних.
2. Передає отримані з брокера повідомлень з застосунком призначеним для користувацького інтерфейсу (клієнта) по протоколу «WebSocket».
3. Отримує повідомлення від застосунка для користувацького інтерфейсу по протоколу «WebSocket».
4. Передає повідомлення по темі «AnalyticsTasks» в брокер повідомлень, при запиті клієнтів.

Якщо розглядати зазначений застосунок з точки зору клієнт-серверних застосунків, то він є сервером. При цьому застосунок користувацького інтерфейсу є клієнтом.

Реалізація програмного застосунку призначеного для користувацького інтерфейсу. Графічний інтерфейс користувача можна розділити на ряд наступних робочих екранів:

1. Екран «Панель приладів» («dashboard») – відображає поточні показники у вигляді графіків.

2. Екран «Детальна інформація» («detail») – відображає поточну та аналітичну інформацію щодо обраного показника.

3. Екран «Доповнена реальність» («augmented reality») – відображає показники в режимі доповненої реальності.

Розглянемо реалізацію кожного з екранів докладніше.

Реалізація екрану «Панель приладів». На екрані «Панель приладів» виконуються наступні дії:

1. Запит списку показників для відображення від сервера бізнес-логіки по протоколу «HTTR».

2. Ініціалізація графіків для отриманого списку показників, установка заголовків.

3. Отримання поточних значень показників від сервера бізнес-логіки по протоколу «Websocket».

4. Відображення поточних значень показників.

Графічний інтерфейс екрану подано на рисунку 3.9.

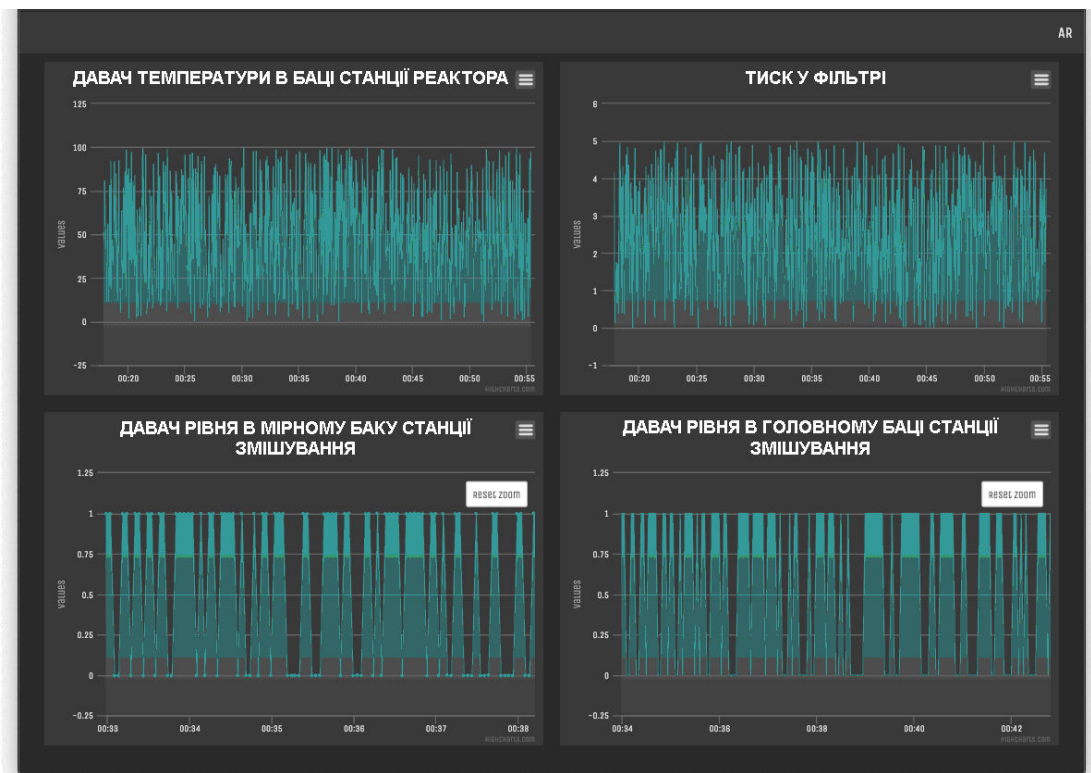


Рисунок 3.9 – Графічний інтерфейс екрану «Панелі приладів»

Реалізація екрану детальної інформації. На екрані детальної інформації виконуються наступні дії:

1. Запит списку показника для відображення від сервера бізнес-логіки по протоколі «HTTP».
2. Ініціалізація графіків для отриманого показника – графіка поточних значень і графіка аналітичних даних.
3. Отримання поточних значень показників від сервера бізнес-логіки по протоколі «WebSocket».
4. Запит розрахунку аналітичних даних для поточного показника.
5. Отримання показників від сервера бізнес-логіки по протоколі «WebSocket».
6. Відображення поточних значень показників.

На Рисунку 3.10 поданий графічний інтерфейс екрану.

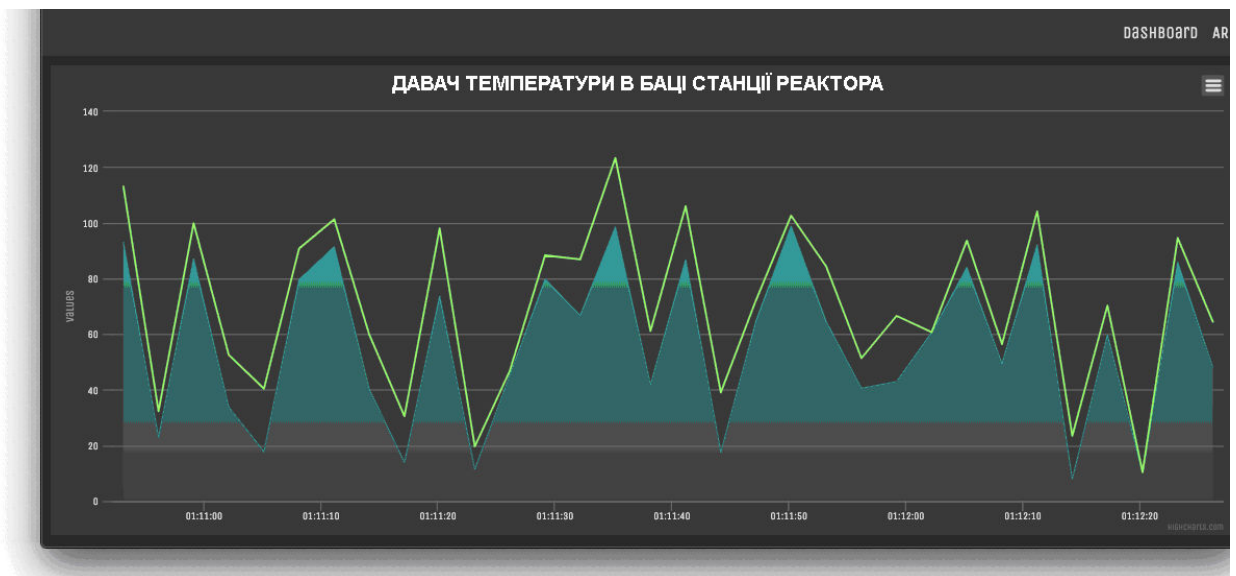


Рисунок 3.10 – Графічний інтерфейс екрану детальної інформації

Реалізація програми пакетного опрацювання даних. Застосунок пакетного опрацювання даних виконує наступні дії:

1. Слухає повідомлення в брокера по темі «analyticsTasks», для отримання завдання для пакетного опрацювання даних.



2. Виконує пакетне опрацювання даних, використовуючи алгоритм «DTW».

3. Передає повідомлення з аналітичними даними за темою «AnalyticsData» в брокер повідомлень.

### **3.3 Розміщення застосунків у хмарній інфраструктурі «розумного міста»**

Розглянемо один із способів розміщення застосунків в хмарній розподіленій інфраструктурі «Розумного міста». В якості хмарної розподіленої інфраструктури був обраний сервіс «AWS», що включає себе обширний перелік послуг. Розглянемо продукти для розміщення кожного програмного застосунку в хмарній інфраструктурі «розумного міста»:

1. Брокер-повідомлень. Для розміщення застосунки брокера повідомлень був обраний сервіс «Amazon MSK», що дозволяє автоматизувати налаштування «Kafka», а також забезпечує просту інтеграцію з іншими сервісами «AWS».

2. Застосунок польового шлюзу. Для розміщення застосунку польового шлюзу не потрібна хмарна платформа «розумного міста», так як він розташовується безпосередньо на сервері, на якому розташовується «OPC»-сервер.

3. Додаток хмарного шлюзу. Для розміщення цього застосунка використовується сервіс «AWS Elastic Beanstalk», що надає сервери «Nginx», «Apache», «IIS» для розміщення застосунків, реалізованих на різних мовах програмування: «Java», «.NET», «PHP», «Node.js», «Python», «Ruby», «Go». Для розроблення використано – «Node.js».

4. Застосунок рівня бізнес-логіки також розміщується на інформаційно-технологічній платформі «розумного міста», яка надається сервісом «AWS Elastic Beanstalk».

5. Застосунок для користувацького інтерфейсу є веб-застосунком та розміщується в платформі, яка надається сервісом «AWS Elastic Beanstalk».

6. Застосунок для пакетного опрацювання даних. Ця програма має запускатися в кластері «Spark» для забезпечення максимальної продуктивності. Сервіс надає «Spark Cluster» – «Amazon EMR» («Elastic MapReduce»).

### **3.4 Висновок до третього розділу**

В цьому розділі детально описано використовувані апаратно-програмні засоби хмарної платформи «розумного міста». Подано опис процесу розроблення програмного забезпечення «розумного» цифрового двійника. Описано особливості розміщення застосунків у хмарній інфраструктурі «розумного міста».

## 4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Тестування продуктивності розробленої інформаційно-технологічної платформи

Для тестування продуктивності розробленої інформаційно-технологічної системи був використаний набір даних споживання електроенергії в будинку з частотою вибірки в одну хвилину протягом майже 4 років. Загальна інформація про набір даних:

1. Тип даних: часовий ряд.
2. Кількість примірників: 2077132.
3. Кількість атрибутів числового ряду: 9.

На Рисунку 4.1 подано приклад зрізу даних.

```
16/12/2006;17:25:00;5.360;0.436;233.630;23.000;0.000;1.000;16.000
16/12/2006;17:26:00;5.374;0.498;233.290;23.000;0.000;2.000;17.000
16/12/2006;17:27:00;5.388;0.502;233.740;23.000;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:28:00;3.666;0.528;235.680;15.800;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:29:00;3.520;0.522;235.020;15.000;0.000;2.000;17.000
16/12/2006;17:30:00;3.702;0.520;235.090;15.800;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:31:00;3.700;0.520;235.220;15.800;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:32:00;3.668;0.510;233.990;15.800;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:33:00;3.662;0.510;233.860;15.800;0.000;2.000;16.000
16/12/2006;17:34:00;4.448;0.498;232.860;19.600;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:35:00;5.412;0.470;232.780;23.200;0.000;1.000;17.000
16/12/2006;17:36:00;5.224;0.478;232.990;22.400;0.000;1.000;16.000
16/12/2006;17:37:00;5.268;0.398;232.910;22.600;0.000;2.000;17.000
```

Рисунок 4.1 – Приклад зрізу даних щодо споживання енергії

Характеристики кластера «m4.large»:

1. Процесори «Intel Xeon® E5-2686 v4» («Broadwell») з частотою 2,3ГГц.
2. Кількість віртуальних ЦПУ: 2.
3. Оперативна пам'ять: 8Гб.

4. Виділена пропускна здатність мережі: 450 Мбіт/с.

Залежність часу пакетної обробки даних алгоритмом «DTW» від кількості вузлів подано на рисунку 4.2. При збільшенні числа вузлів швидкість виконання збільшується.

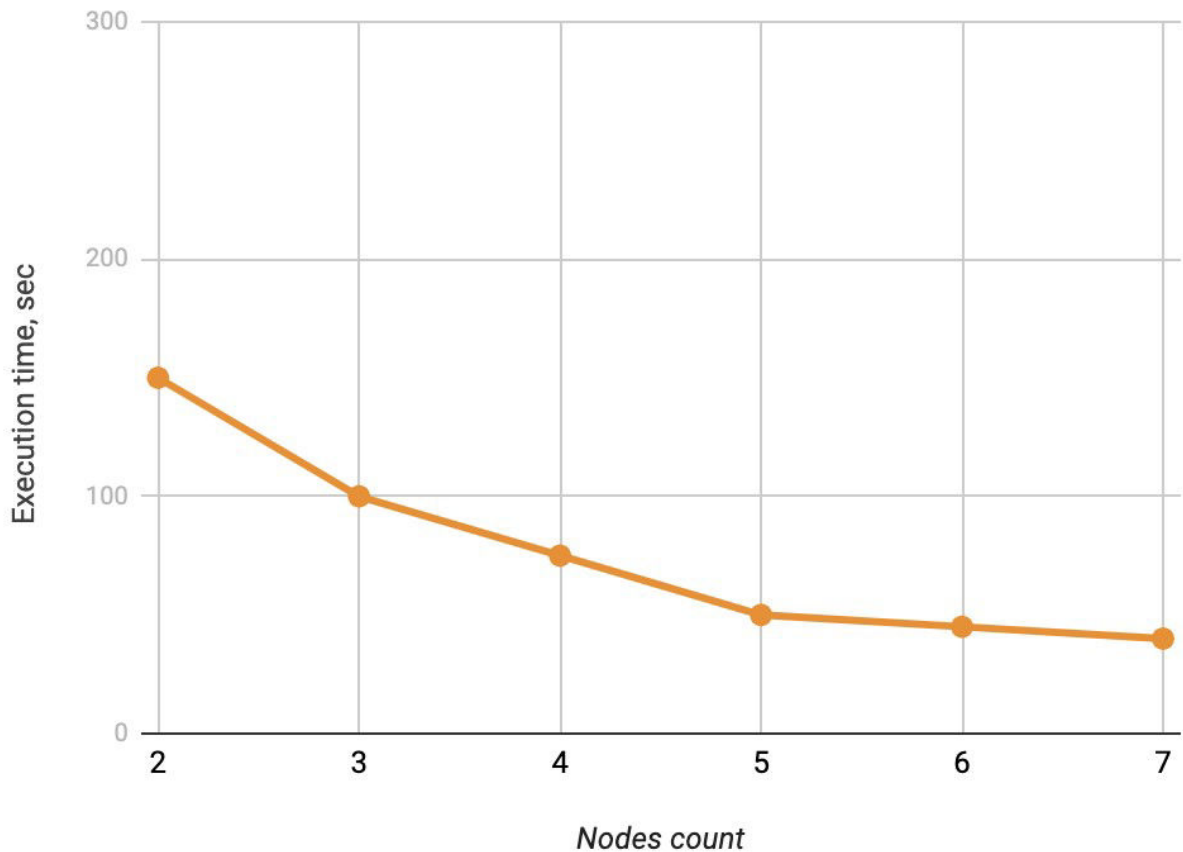


Рисунок 4.2 – Залежність часу пакетної обробки даних алгоритмом «DTW» від кількості вузлів

Параметри брокера повідомлень:

1. Розмір повідомлення: 200 байт.
2. Розмір пакета: 200 повідомлень.
3. Розмір вибірки: 1 Мб.
4. Інтервал очищення: 600 повідомлень.

Графік залежності пропускної здатності програми постачальника даних від розміру пакета подано на рисунку 4.3. Видно що можна проводити запис зі швидкістю 50 Мб/сек, але це число змінюється з розміром пакета.

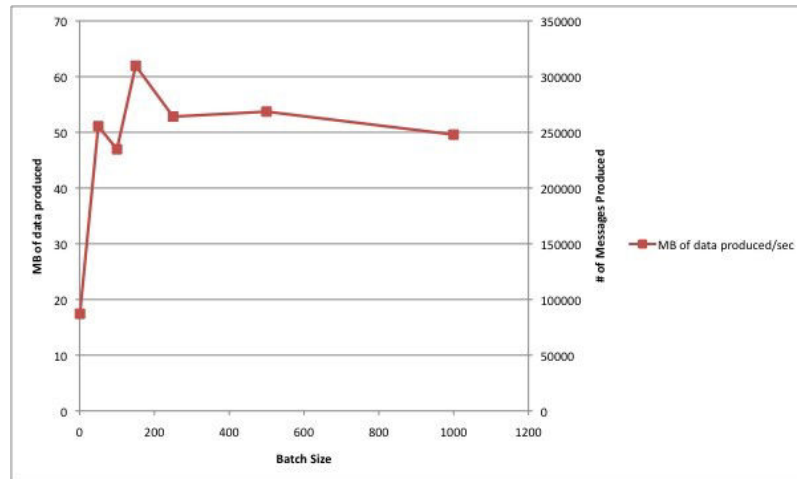


Рисунок 4.3 – Графік залежності пропускної здатності постачальника від розміру пакета

Графік залежності пропускної здатності споживача даних від розміру пакета поданий на рисунку 4.4.

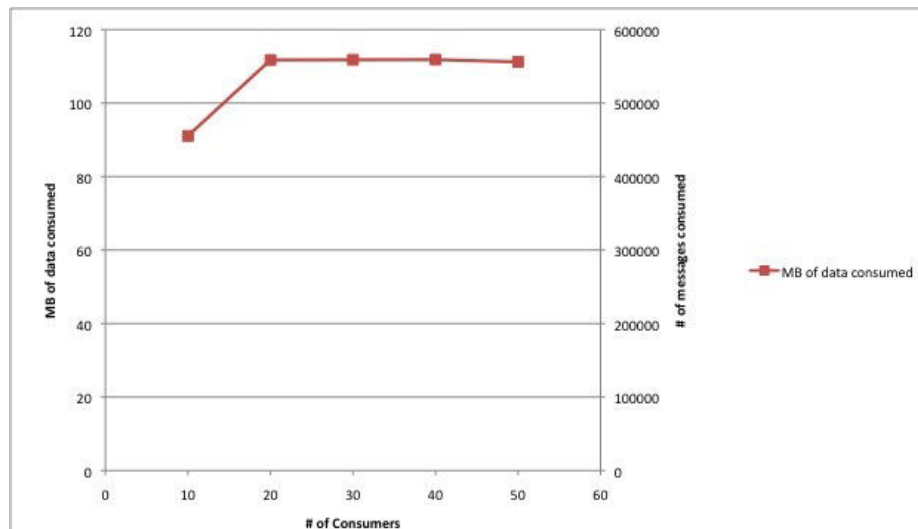


Рисунок 4.4 – Графік залежності пропускної спроможності споживача від розміру пакета

Видно що можна робити зчитування (споживання) зі швидкістю 100 Мб/сек. Швидкість не сильно змінюється так як збільшується число потоків споживачів. Графік залежності пропускної здатності постачальника даних від кількості потоків постачальників подано на рисунку 4.5.

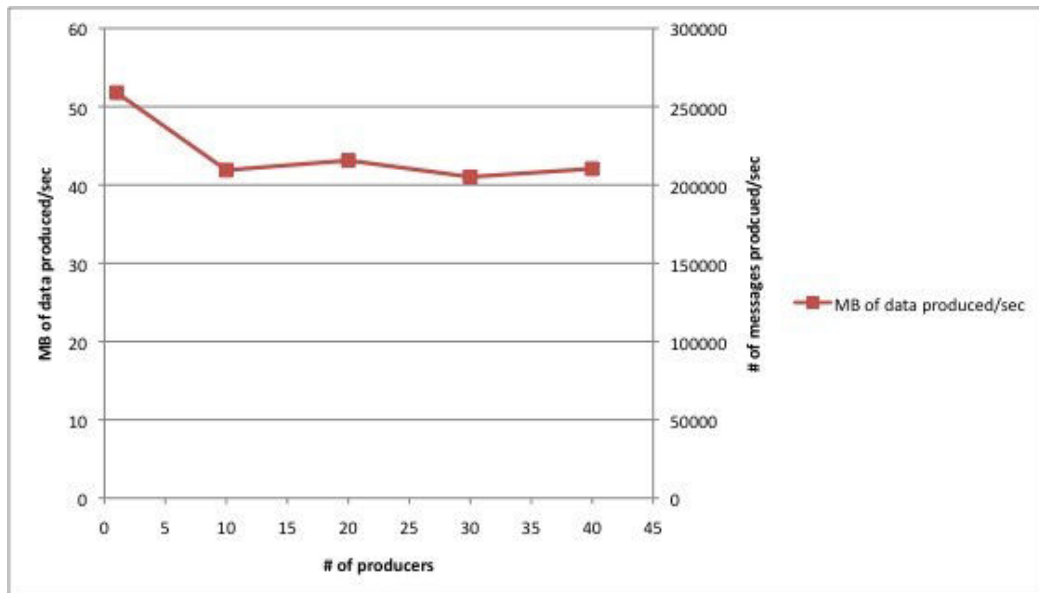


Рисунок 3.5 – Графік залежності пропускної спроможності постачальників від кількості потоків

Видно, що максимальна пропускна здатність постачальників може забезпечуватися лише кількома потоками. Графік залежності пропускної спроможності постачальників даних від кількості тем поданий на рисунку 4.6.

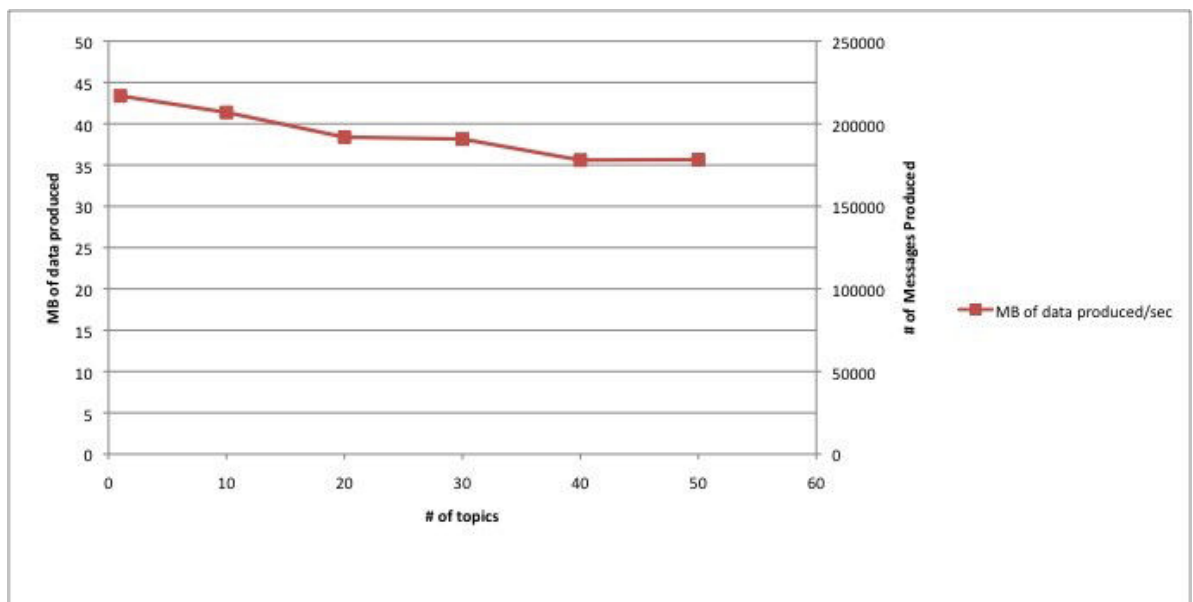


Рисунок 3.6 – Графік залежності пропускної спроможності постачальників від кількості тем

Видно, що кількість тем із мінімальним впливом на пропускну здатність постачальників даних.

## **4.2 Висновок**

У цьому розділі подано експериментальні результати дослідження продуктивності розробленої інформаційно-технологічної платформи.

## **5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

Метою дипломної роботи освітнього рівня «Магістр» є дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті». Головною метою розділу є встановлення економічної доцільності проведення даної розробки.

Щоб виконати оцінку економічної ефективності необхідно розрахувати трудомісткість реалізації дослідження, витрати на оплату праці найманим працівникам, витрати апаратного і програмного забезпечення, амортизаційні відрахування, витрати енергоресурсів та інші витрати які є основними пунктами виконання обчислень, а також показники економічної ефективності дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті».

### **5.1 Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи**

Реалізація дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» складається з низки послідовних та взаємопов'язаних етапів. Кожен із етапів реалізації дослідження характеризується метою та змістом, оцінкою часу виконання, кількістю та спеціалізацією виконавців, а також приблизною оцінкою вартості.

Реалізація дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті». складається із підготовчого етапу, етапу технічної пропозиції, створення технічного завдання, проектування системи, практичної реалізації, тестування, верифікації та заключного етапу.

Норми часу на виконання науково-дослідницької роботи розраховуватимуться на основі середнього часу виконання стадії в годинах, що наведені в таблиці 5.1 разом із інформацією про виконавців і сумарною кількістю затраченого часу.



Таблиця 5.1 – Операції науково-дослідного процесу та час їх виконання

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1.	Підготовча стадія	Проектний менеджер	2
		Інженер-програміст	
2.	Технічна пропозиція	Проектний менеджер	78
		Інженер-програміст	
3.	Створення технічного завдання	Проектний менеджер	82
		Інженер-програміст	
4.	Проектування системи	Проектний менеджер	82
5.	Практична реалізація	Інженер-програміст	50
6.	Тестування системи	Тестувальник	50
7.	Верифікація системи	Проектний менеджер	30
		Інженер-програміст	
		Тестувальник	
8.	Створення документації	Інженер-програміст	20
9.	Заключна стадія	Проектний менеджер	20
Разом			412

В підсумку на реалізацію дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» необхідно 412 людино-годин, залучення трьох спеціалістів та виконання дев'яти різноманітних стадій реалізації проекту.

## **5.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи**

Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи прямо залежить від кількості витраченого працівниками часу на роботу,

ставки в годину чи місяць, кількість відрахувань на соціальні заходи встановлених в законному порядку на час розрахунку.

В результаті розрахунку потрібно визначити основну та додаткову заробітну плату, витрати на соціальні заходи та на основі цих даних визначити сумарні витрати на оплату праці.

Основна заробітна плата нараховується за виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час.

При розрахунку заробітної плати кількість робочих днів у місяці слід в середньому приймати – 24,5 дні/міс., або ж 196 год./міс. (тривалість робочого дня – 8 год.).

Наймані працівники для розробки інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів працюють згідно контракту, який в якому вказано їхню погодинну ставку. Тобто розрахунок заробітної плати працівників відбуватиметься на базі тарифної ставки та кількості відпрацьованих годин.

У штаті найманих працівників для розробки інформаційної системи залучено проектного менеджера, інженера-програміста і тестувальника.

Тарифні ставки учасників процесу розробки інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів:

- Проектний менеджер – 150 грн./год.
- Інженер-програміст – 130 грн./год.
- Тестувальник – 100 грн./год.

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{осн.} = T_c \cdot K_z, \quad (5.1)$$

де  $T_c$  – тарифна ставка, грн.;

$K_c$  – кількість відпрацьованих годин.

Оскільки всі види робіт в виконує три спеціалісти, то основна заробітна плата буде розраховуватись за даною формулою 5.1.

$$Z_{осн.} = 150 \cdot 191 + 130 \cdot 159 + 100 \cdot 62 = 55520,00 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15 % від суми основної заробітної плати й визначається за формулою 5.2. Коефіцієнт додаткових виплат працівникам становить 0,1.

$$Z_{дод.} = Z_{осн.} \cdot K_{дод.}, \quad (5.2)$$

де  $K_{дод.}$  – коефіцієнт додаткових виплат працівникам.

$$Z_{дод.} = 55520,00 \cdot 0,1 = 5552,00 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці ( $B_{о.п.}$  – фонд заробітної плати) визначаються за формулою 5.3:

$$B_{о.п.} = Z_{осн.} + Z_{дод.} \quad (5.3)$$

$$B_{о.п.} = 55520,00 + 5552,00 = 61072,00 \text{ грн.}$$

З цієї суми утримуються обов'язкові відрахування на заробітну плату:

- Єдиний соціальний внесок (ЄСВ), що становить – 22%.
- Військовий збір (ВЗ), що становить – 1,5%.

Сума відрахувань становить 23,5 % від фонду оплати праці та визначається за формулою 5.4:

$$B_{с.з.} = \Phi_{ОП} \cdot 0,235, \quad (5.4)$$

де  $\Phi_{ОП}$  – фонд оплати праці, грн.

$$B_{с.з.} = 61072,00 \cdot 0,235 = 14351,92 \text{ грн.}$$

Усі витрати обчислюються детально наведені в таблиці 5.2 та обчислюються за формулою 5.5.

$$B_{з.п.} = \Phi_{ЗП} + \Phi_{ОП}, \quad (5.5)$$

$$B_{з.п.} = 55520,00 + 5552,00 + 14351,92 = 75423,92 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарахув. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн. $6=3+4+5$
		Тарифна ставка, грн.	К-сть відпрацьов. год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
А	Б	1	2	3	4	5	6
1	Проектний менеджер	150	191	28650,00	2865,00		
2	Інженер-програміст	130	159	20670,00	2067,00		
3	Тестувальник	100	62	6200,00	620,00		
Разом		380	412	55520,00	5552,00	14351,92	75423,92

Опираючись на розрахунки витрат на оплату та зведену таблицю результатів 5.2 видно, що всього витрати на плату праці становлять 75423,92 грн.

### 5.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати є невід'ємною частиною дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» та визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни за формулою 5.6:

$$M_{Bi} = q_i \cdot p_i, \quad (5.6)$$

де:  $q_i$  – кількість витраченого матеріалу  $i$ -го виду;

$p_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою 5.7:

$$Z_{мв.} = \sum M_{Bi}. \quad (5.7)$$

Результати проведених розрахунків наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків матеріальних витрат

1	Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Фактично витрачено матеріалів	Ціна за одиницю, грн	Загальна сума витрат, грн
1	2	3	4	5	6
1. Основні матеріали					
1.1	Використання мережі Інтернет, місячна абонплата	міс		150	300,00
2. Допоміжні витрати					
2.1	Папір	уп.	0,2	85,00	17,00
2.2	Тонер	уп.	1	50,00	50,00
2.3	CD диск	шт.	2	10	20,00
Разом:					387,00

Загальні матеріальні витрати на Інтернет, папір формату А4, тонер та CD-диски становлять 387,00 грн.

#### 5.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Однією із статей витрат є витрати на електроенергію під час проходження усіх етапів реалізації кінцевого продукту. Затрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою 5.8:

$$Z_e = W \cdot T \cdot S, \quad (5.8)$$

де  $W$  – необхідна потужність, кВт;  $T$  – кількість годин роботи обладнання;  $S$  – вартість кіловат-години електроенергії.

Вартість кіловат-години електроенергії слід приймати згідно існуючих на даний час тарифів. Отже, 1 кВт з ПДВ коштує 2,42 грн.

Потужність комп'ютерів для реалізації кінцевого продукту – 400 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 5.1 – 412 годин.

Визначимо витрати на електроенергію згідно формули 5.8

$$Z_e = 0,4 \cdot 412 \cdot 2,42 = 398,82 \text{ грн.}$$

Отже, затратами на електроенергію для дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» буде 398,82 грн.

#### 5.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Для будь якої діяльності характерною є властивість зношування на зниження якості властивостей інструментарію та фондів за допомогою яких ведеться діяльність. Для вирішення проблеми із відновленням даних фондів використовується амортизація, що являє собою процес трансформації вартості основних фондів на вартість продукції, яка щойно була створена,

задля повного відновлення основних фондів. Для визначення амортизаційних відрахувань використовується формула 5.9:

$$A = \frac{B_B \cdot H_A}{100\%}, \quad (5.9)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.;

$B_B$  – балансова вартість групи основних фондів на початок звітного періоду, грн.;

$H_A$  – норма амортизації, %.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60 % (квартальна – 15 %). Річний робочий фонд становитиме 2352 годин, так як робочий день становить 8 годин, а кількість робочих днів в місяці становить 24,5 годин.

Для даної розробки засобом розробки є комп'ютер. Його сума становить 18580 грн. Отже, амортизаційні відрахування будуть рівні:

$$A = 18580 \cdot 5 \% / 100 \% = 929,00 \text{ грн.}$$

Згідно проведених обчислень амортизаційні відрахування становлять 929,00 грн.

## 5.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління спілкою та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20-60 % від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_{\epsilon} = B_{o.n.} \cdot 0,2 \dots 0,6, \quad (5.10)$$

де  $H_B$  – накладні витрати.

Отже, накладні витрати становлять згідно формули 5.10:

$$H_{\epsilon} = 61072,00 \cdot 0,2 = 12214,40 \text{ грн.}$$

Отже, накладні витрати для науково-дослідних робіт щодо дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» будуть становити 12214,40 грн.

### 5.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи

Результати проведених вище розрахунків зведемо у таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В % до загальної суми
Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	14421,00	59,3
Відрахування на соціальні заходи	3388,94	13,9
Матеріальні витрати	735	3,02
Витрати на електроенергію	321,024	1,32
Амортизаційні відрахування	2588,81	10,6
Накладні витрати	2884,20	11,9
Собівартість	24338,97	100

Собівартість ( $C_{\epsilon}$ ) програмного продукту розрахуємо за формулою:

$$C_B = B_{o.n.} + B_{c.z.} + Z_{m.g.} + Z_{\epsilon} + A + H_{\epsilon}. \quad (5.11)$$



Отже, собівартість програмного продукту дорівнює:

$$C_B = 14421,00 + 3388,94 + 735 + 321,024 + 2588,81 + 2884,20 = 24338,97 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи становить 24338,97 грн.

### 5.8 Розрахунок ціни проведених науково-дослідних робіт

Ціну науково-дослідної роботи можна визначити за формулою:

$$Ц = \frac{C_B \cdot (1 + P_{рен}) + K \cdot B_{н.і.}}{K} \cdot (1 + ПДВ), \quad (5.12)$$

де  $P_{рен.}$  – рівень рентабельності, 30 %;

$K$  – кількість замовлень, од.;

$B_{н.і.}$  – вартість носія інформації, грн.;

$ПДВ$  – ставка податку на додану вартість, (20 %).

Оскільки розробка є науково-дослідною, і використовуватиметься тільки один раз, то для розрахунку ціни не потрібно вказувати коефіцієнти  $K$  та  $B_{н.і.}$ , оскільки їх в даному випадку не потрібно.

Тоді, формула для обчислення ціни розробки буде мати вигляд:

$$Ц = C_B \cdot (1 + P_{рен}) \cdot (1 + ПДВ). \quad (5.13)$$

Звідси ціна проведення науково-дослідних робіт складе:

$$Ц = 24338,97 (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,2) = 37968,80 \text{ грн.}$$

Отже, для дослідження цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» необхідно 37968,80 грн.

### 5.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Економічна ефективність ( $E_p$ ) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \frac{\Pi}{C_B}, \quad (5.14)$$

де  $\Pi$  – прибуток;

$C_B$  – собівартість.

Плановий прибуток ( $\Pi_{пл}$ ) знаходимо за формулою:

$$\Pi_{пл} = Ц - C_B. \quad (5.15)$$

Розраховуємо плановий прибуток:

$$\Pi_{пл} = 37968,80 - 24338,97 = 50037,76 \text{ грн.}$$

Отже, формула для визначення економічної ефективності набуде вигляду:

$$E_p = \frac{\Pi_{пл}}{C_B}. \quad (5.16)$$

Тоді,

$$E_p = 13629,82 / 24338,97 = 0,56 .$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень ( $T_p$ ):

$$T_p = \frac{1}{E_p}, \quad (5.17)$$

Термін окупності дорівнює:

$$T_p = 1 / 0,56 = 1,8 \text{ р.}$$

Згідно формул плановий прибуток від проведених науково-дослідних робіт становить 50037,76 грн., економічна ефективність дорівнює 0,56 , а термін окупності становить 1,8 роки що вважається доцільним та економічно вигідним.

### 5.10 Висновок

В розділі «Обґрунтування економічної ефективності» дипломної роботи освітнього рівня «магістр» розраховано основні техніко-економічні показники проведених досліджень цифрових двійників для технологічних ліній в «розумному місті» (див. таблицю 5.5).

Розраховане значення економічної ефективності становить 0,56 , що є високим значенням.

Так само нормальним є термін окупності, який повинен коливатися від 1 до 3 років. Для проведених в дипломній роботі досліджень він становить 1,8 років.

Таблиця 5.5 – Техніко-економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1.	Собівартість, грн.	24338,97
2.	Плановий прибуток, грн.	13629,82
3.	Ціна, грн.	37968,80
4.	Економічна ефективність	0,56
5.	Термін окупності, рік	1,8

Отже, отримані в рамках дипломного проектування результати науково-дослідних робіт можуть бути впроваджені та мати подальший розвиток, оскільки вони є економічно вигідним за всіма основними техніко-економічними показниками.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Професійне «вигорання» працівників галузі інформаційних технологій**

Проблема дослідження безпосередньо пов'язана з розробкою та впровадженням психологічних засобів для оцінки і профілактики професійного стресу, як одного з основних джерел зниження ефективності праці та порушень психічного і фізичного здоров'я професіоналів, а отже емоційного вигорання.

Синдром вигорання – це довготривалий, складний психофізіологічний процес, який містить в собі емоційне, психологічне, розумове і фізичне виснаження з причини тривалого емоційного навантаження.

Проблема розвитку та діагностики проблем професійного вигорання досліджувалась у роботах Г. Сельє, Б. Карвасарського, В. Мясіщева, О. Свядоща, З. Фрейда, А. Адлера, М. Хананашвілі, В. Бодрова та ін. Значна кількість досліджень присвячена вивченню особливостей різноманітних стресових станів (В. Бодров, Л. Китаєв-Смик, Н. Самоукіна, О. Полякова), зокрема дослідженню професійного стресу (М. Борневассер, Дж. Грінберг, Г. Купер, Л. Леві, Г. Леонова, Н. Водоп'янова та ін.).

В останні десятиліття активізувалися дослідження в галузі професійної діяльності. Це обумовлено тим, що професійний простір у процесі глобалізації піддається впливу широкого спектра соціально-економічних і технологічних змін, які мають для суб'єкта праці та його професійної діяльності величезні наслідки, які потребують нового рівня адаптації. Проте багато питань по психології професійного стресу, залишаються відкритими. Так, недостатньо дослідженою є медико-психологічна проблема професійного вигорання осіб, які працюють у сфері інформаційних технологій.

Відповідно до загальноприйнятих уявлень, професія програміста «інтелектуально орієнтована», тобто вимагає високого рівня розвитку інтелектуальних здібностей та таких особливостей мислення як: критичність, абстрактність, гнучкість, системність, здатність до швидкого засвоєння нового матеріалу тощо [66]. Існує набір особливостей мислення, уваги, здібностей, притаманних саме працівникам ІТ-сфери. Так, дослідники стверджують, що професійні програмісти мають свої риси, якості та визначають психологічні і загальнолюдські риси, здібності й особливості мислення, які повинні бути характерними для програмістів [67]. Передумовами успішної діяльності програміста визнаються такі риси: дистанційованість від інших людей, інтровертованість, заглибленість у власні інтелектуальні переживання. При називанні образних асоціацій, які викликає в них комп'ютер, на першому плані в програмістів виявляються образи, пов'язані з творінням нової реальності («особливого світу»), а робота за комп'ютером слугує свого роду заміником соціальних взаємодій [68].

Професійні програмісти, на переконання О. Волконської, мають чітко сформований образ майбутнього, вони більш самодостатні та реалістичні, ніж фахівці нижчої кваліфікації. Вільні самоописи програмістів виявилися біднішими, ніж у непрофесіоналів [69].

Розвиток синдрому вигорання є індивідуальним та визначається відмінностями в емоційно-мотиваційній сфері, а також умовами, в яких протікає професійна діяльність людини. Клінічна картина вигорання включає ряд неспецифічних психопатологічних, психосоматичних, соматичних симптомів і ознак соціальної дисфункції. Найбільш типовими проявами є хронічна втома, когнітивна дисфункція (порушення пам'яті й уваги), порушення сну й особистісні зміни.

Синдром емоційного вигорання характерний для представників ІТ. До чинників, які можуть сприяти виникненню емоційного вигорання у інженерів програмістів в ІТ-компаніях, відносять суворий контроль над роботою

програміста, часті перевірки стану проекту; надмірно стислі терміни виконання проектів і завдань; жорсткий розподіл обов'язків зверху між програмістами в команді; відсутність творчої діяльності в роботі програміста, постійне виконання програмістом рутинних операцій; відсутність можливості ведення нормального діалогу усередині команди, з лідером команди розробників.

## **6.2 Вимоги до профілактики медичних оглядів**

Відеодисплейний термінал (відеотермінал, дисплей, монітор, візуальний дисплейний термінал, ВДТ) – частина ЕОМ, що містить пристрій для подання візуальної інформації.

На виконання статті 21 Закону України «Про захист населення від інфекційних хвороб» постановою Кабінету Міністрів України від 23.05.2001 року №559 [70] затверджено Перелік професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим профілактичним медичним оглядам та Порядок проведення цих оглядів та видачі особистих медичних книжок.

Працюючі з ВДТ підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім – при влаштуванні на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності, відповідно до наказу МЗ України N 45 від 31.03.94 р. [71]

Періодичні методичні огляди мають проводитися раз на два роки комісією в складі терапевта, невропатолога та офтальмолога.

До складу комісії, що проводить попередні та періодичні медичні огляди, при необхідності (за наявністю медичних показань), можуть залучатись до оглядів лікарі інших спеціальностей.

Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ВДТ мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції,

акомодації, стану біокулярного апарату ока тощо. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Жінки, що працюють з ВДТ, обов'язково оглядаються акушером-гінекологом один раз на два роки. Жінки з часу встановлення вагітності та в період годування дитини груддю до виконання всіх робіт, пов'язаних з використанням ВДТ, не допускаються.

Виконання вимог, наведених в Правилах, в комплексі з практичним здійсненням первинних та спеціальних заходів повинно стати нормою діяльності всіх фахівців, безпосередньо пов'язаних з навчальними та виробничими колективами.

Протипоказання з боку органів зору:

- гострота зору з корекцією не нижча ніж 0,5 на одному оці і 0,2 – на другому;
- рефракція: міопія вище 6,0 Д, гіперметропія вище 4,0 Д, астигматизм (будь-якого виду) вище 3,0 Д;
- відсутності біокулярного зору;
- лагофтальм;
- хронічні захворювання переднього відрізка очей;
- захворювання зорового нерва і сітки;
- глаукома.

Загальні (соматичні) протипоказання [72]:

- вроджені аномалії органів з вираженою недостатністю їхніх функцій;
- органічні захворювання центральної нервової системи з вираженими порушеннями функцій;
- хронічні форми психічних захворювань і психогенні стани, при яких хворі підлягають обов'язковому динамічному нагляду у психоневрологічних диспансерах, епілепсія з пароксизмальними порушеннями. У разі виражених форм пограничних психічних захворювань



питання про придатність до відповідних робіт вирішуються комісією психоневрологічної установи індивідуально;

- ендокринні захворювання з вираженими порушеннями функцій ендокринних залоз;
- злоякісні пухлини (після лікування питання про придатність до роботи може вирішуватись індивідуально за умови, якщо немає абсолютних протипоказань);
- всі захворювання систем крові та органів кровотворення;
- гіпертонічна хвороба III стадії;
- хронічні захворювання легенів з вираженою недостатністю серця і легенів;
- тяжкий ступінь бронхіальної астми з вираженими функціональними порушеннями дихання і кровообігу;
- активні форми туберкульозу будь-якої локалізації;
- виразкова хвороба шлунку і дванадцятипалої кишки з хронічним рецидивуючим перебігом;
- цироз печінки і активний хронічний гепатит;
- хронічна форма хвороб нервової системи;
- хронічні захворювання нирок з проявами ниркової недостатності;
- вертебро-неврологічні захворювання (радикулярні синдроми шийного та попереково-крижового рівня);
- колагенози;
- вагітність і період лактації;
- звичайні викидні аномалії плода в анамнезі жінок, які планують народження дітей;
- порушення менструальної функції, що супроводжується матковими кровотечами.

При виявленні хронічних неспецифічних захворювань (гіпертонічна хвороба, виразкова хвороба шлунку та 12-палої кишки, хронічні захворювання бронхолегеневої, гепатобіліарної системи та ін.) працюючі з

ВДТ ЕОМ та ПЕОМ повинні бути взяті на диспансерний облік з метою здійснення систематичного лікарського обстеження та лікування.

### **6.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до дії світлового випромінювання ядерного вибуху**

Критерієм оцінки стійкості роботи промислового підприємства до дії світлового випромінювання ядерного вибуху є світловий імпульс, при якому відбувається загоряння певних споруд та виникнення пожеж. [73]

При оцінці враховують якості будівельних матеріалів, характеристики споруд, особливості виробництва.

Всі матеріали поділяють на:

- неспалимі (вогнетривкі) – не спроможні горіти у повітрі (всі природні та штучні неорганічні матеріали і метали);

- важко спалимі – не спроможні самостійно горіти у повітрі після вилучення джерела запалювання (композитні матеріали із спалимих і неспалимих компонент – асфальтобетон, гіпсові та бетонні деталі із органічними наповнювачами; глиносолом'яні матеріали; цементний фіброліт; деревина після обробки антипіренами; войлок, що вимочено в глині);

- спалимі – здатні самостійно горіти в повітрі.

Найбільш небезпечними є споруди із спалимих матеріалів, але і будівлі, що виконані із неспалимих матеріалів, можуть витримувати дію вогню або високих температур тільки протягом певного часу. Межа вогнестійкості вимірюється часом в годинах до появи наскрізних тріщин, до втрати несучої спроможності, або до підвищення температури на зворотному від вогню боці до 220 градусів.

За вогнестійкістю будівлі та споруди поділяються на 5 ступенів:

- 1 ступінь – будинки із природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону з використанням листових та плитових негорючих матеріалів;
- 2 ступінь – те ж, але у перекриттях використовуються незахищені сталеві конструкції;
- 3 ступінь – те ж, але у перекриттях використовуються дерев'яні конструкції, захищені важко спалимими листовими чи плитовими матеріалами;
- 4 ступінь – будинки з несучими та відгороджувальними конструкціями з деревини, захищеними від впливу вогню та великих температур штукатуркою чи іншими матеріалами;
- 5 ступінь – будинки без вимог щодо меж вогнестійкості та меж поширення вогню.

Виникнення пожеж залежить від технологічного процесу та характеру виробництва. Тому об'єкти оцінюють за пожежною небезпекою в залежності від характеру виробництва; виникнення пожеж можливо від світлового випромінювання та руйнування виробничих споруд ударною хвилею.

За ступенем пожежонебезпечності приміщення поділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Категорії встановлюються залежно від властивостей використовуваних речовин та матеріалів і технологічних процесів.

До категорії А відносяться пожежо- та вибухонебезпечні виробництва, у технологічних процесах яких використовують: горючі гази і пари, які мають нижню межу вибуховості до 10% об'єму повітря; рідини, які мають температуру спалаху парів до 28°C; речовини, здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем, повітрям чи одне з одним. До категорії А відносяться допоміжні приміщення, призначені для заряджання акумуляторів, майстерні з їх ремонту.

Категорія Б – пожежо- і вибухонебезпечні виробництва, в технологічних процесах яких використовують горючі гази з нижньою межею вибухонебезпечності більше 10% об'єму повітря; рідини з температурою спалаху 28...61°C; вогнебезпечні рідини, які нагріваються в умовах виробництва до температури спалаху і вище; горючі пил та волокна з нижньою межею вибуховості до 65 г/м<sup>3</sup>. До цієї категорії відносять приміщення спеціальних складів – холодильників (машинні відділення аміачних холодильних установок, приміщення для зберігання аміаку та ін.).

Категорія В – пожежонебезпечні виробництва, в технологічних процесах котрих використовуються рідини з температурою спалаху парів вище 61°C; горючі пил та волокна з нижньою межею вибуховості понад 65 г/м<sup>3</sup>; речовини, які здатні горіти при взаємодії з водою, киснем повітря, чи одне з одним, а також тверді речовини і матеріали, які згоряють.

Категорія Г – виробництва, на яких обробляються речовини, матеріали, які не горять, у гарячому, розпеченому чи розплавленому стані з виділенням тепла, іскр та полум'я, а також із спалюванням твердого, рідкого чи газоподібного палива.

Категорія Д – виробництва, де обробляють та зберігають речовини і матеріали, що не згорають, у холодному стані. До цієї категорії належать приміщення, призначені для зберігання виробів із металу та скла.

Найбільш небезпечними у пожежному відношенні є виробництва категорій А та Б; можливість виникнення пожеж у виробничих спорудах категорій В, Г, Д залежить від ступеню їх вогнестійкості.

Оцінку вірогідності виникнення і розвитку пожеж на території, що прилягає до об'єкту, проводять згідно до класифікації пожеж та особливостей їх розповсюдження в залежності від густини забудови. Оцінка стійкості будівель і споруд до дії світлового випромінювання здійснюється за значеннями світлових імпульсів, при яких загоряються різні матеріали, та за

значеннями відстаней, на яких можливі світлові імпульси в залежності від потужності вибуху. [74]

При оцінці стійкості об'єкту до дії світлового випромінювання уважно обстежують всі будівлі, споруди та виробничі установки, що розташовані на території підприємства; визначають місця можливого загоряння, а також аналізують наслідки можливих пожеж з урахуванням характеру виробництва та забудови навкруги об'єкту.

Після оцінки вогнестійкості будівель та споруд та дослідження характеру технологічного процесу виводять висновки щодо стійкості до дії світлового випромінювання об'єкту у цілому та намічають заходи по підвищенню вогнестійкості об'єкту.

#### **6.4 Забезпечення захисту працівників суб'єкта господарювання від іонізуючих випромінювань**

З урахуванням зазначеного прогнозу на території області може виникнути складна радіаційна обстановка наслідки якої вимагатимуть від органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, на які покладено виконання завдань щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, оперативного реагування та дій. [75]

Місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання здійснюють для забезпечення захисту людей від впливу іонізуючих випромінювань наступні заходи:

– приймають згідно з законодавством України рішення щодо застосування на підвідомчій території заходів втручання у разі радіаційних аварій;

- організують проведення в установленому порядку щорічні обстеження з метою оцінки стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань та ведення екологічного паспорта підвідомчої території;
- здійснюють організаційне керівництво системою обліку та контролю доз опромінення населення на підвідомчій території;
- організують контроль за виконанням заходів щодо захисту людини від впливу радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах;
- затверджують відповідні плани щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують постійну готовність засобів оповіщення населення на підвідомчій території про виникнення радіаційної аварії;
- організують контроль за виконанням заходів щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують населення, в місцях його проживання, інформацією щодо рівнів опромінення людини та заходів захисту від впливу іонізуючих випромінювань, що виконуються на підвідомчій території;
- розроблюють та впроваджують програми захисту людей від впливу іонізуючих випромінювання;
- здійснюють оповіщення населення у разі виникнення радіаційної аварії та інформування про рятувальні та профілактичні заходи у зв'язку з цим.

Для виконання вищезазначених заходів залучаються:

- органи управління, сили і засоби обласної територіальної та функціональних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (далі – ЄДС ЦЗ), порядок дій яких визначено Планом реагування на надзвичайні ситуації, пов'язаних з викидом радіоактивних речовин.

Режими захисту робітників і службовців на суб'єктах господарювання вводяться в дію рішенням керівників об'єктів.

Незалежно від місця розміщення суб'єкту господарювання (в населеному пункті або за його межами) на його території вводиться в дію свій режим захисту з урахуванням рівнів радіації, виміряних на об'єкті, і реального ступеню захисту працівників і службовців.

При наявності на об'єкті сховищ і ПРУ(С) з різним значенням Кпосл, по рішенню керівника ЦЗ об'єкту режим захисту вибирається або по найменшому значенню Кпосл. або ж для кожної захисної споруди окремо.

При виникненні комунальної радіаційної аварії окрім термінових робіт щодо стабілізації радіаційного стану (включаючи відновлення контролю над джерелом) місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання одночасно здійснюють заходи, спрямовані на:

- зведення до мінімуму кількості осіб з населення, які зазнають аварійного опромінення;
- запобігання чи зниження індивідуальних і колективних доз опромінення населення;
- запобігання чи зниження рівнів радіоактивного забруднення продуктів харчування, питної води, сільськогосподарської сировини і сільгоспугідь, об'єктів довкілля (повітря, води, ґрунту, рослин тощо), а також будівель і споруд.

Для населення, робітників та службовців суб'єктів господарювання, які можуть потрапити в зону випадіння радіоактивних опадів, доцільно завчасно, виходячи з конкретних місцевих умов, розрахувати варіанти режимів радіаційного захисту. [76]

З урахуванням вищезазначеного, режими радіаційного захисту вводяться в дію місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання з метою захисту людей від впливу іонізуючого випромінювання у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з радіаційними аваріями.

## 6.5 Висновок

В розділі описано актуальне на даний час питання – професійне «вигорання» працівників галузі інформаційних технологій, оскільки розвиток синдрому вигорання є індивідуальним та визначається відмінностями в емоційно-мотиваційній сфері, а також умовами, в яких протікає професійна діяльність людини. Okремо розглянуті вимоги до профілактики медичних оглядів.

Okремо описана оцінка стійкості роботи промислового підприємства до дії світлового випромінювання ядерного вибуху. Досліджено забезпечення захисту працівників суб'єкта господарювання від іонізуючих випромінювань.



## 7 ЕКОЛОГІЯ

### 7.1 Статистика екології об'єктів природного середовища

Статистика екології атмосфери.

Атмосфера – один з найважливіших, життєво необхідних екологічних факторів. Вона захищає всі живі істоти Землі від різких температурних коливань і шкідливих випромінювань, є одним з основних засобів перерозподілу сонячної енергії, забезпечує процеси дихання й фотосинтезу. Під забрудненням атмосферного повітря розуміють збільшення концентрації фізичних, хімічних та біологічних компонентів понад рівень, що виводить природні системи зі стану рівноваги [77]. Найбільші забруднення атмосфері спричиняють три різновиди людської діяльності:

- механічна обробка як земної поверхні ( сільгоспроботи, утворення кар'єрів тощо) так і різних матеріалів (пиляння, свердлування, розмелювання), що спричинює забруднення атмосфери аерозолями, дрібними частками речовин;

- виготовлення й робота з леткими речовинами (пальне, розчинники, гази тощо) – спричинює забруднення газами й парами;

- продукти згоряння (в топках електростанцій, моторах двигунів тощо) – спричиняють всі види забруднень.

Система показників викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря:

- показники обсягів та щільності викидів;
- показники викидів в атмосферу шкідливих речовин (ШР);
- показники охорони атмосферного повітря;
- показники складу викидів в атмосферу ШР стаціонарними джерелами;
- показники щільності викидів шкідливих речовин;
- показники навантаження забруднювальних речовин на природу;

– сучасний стан забруднення атмосфери.

Статистика екології водних ресурсів.

Гідросфера – це водна сфера нашої планети, сукупність океанів, морів, вод континентів, льодовикових покривів. Запаси води на Землі величезні – 1,46-109 м<sup>3</sup> (0,025% її маси). Але це переважно гірко-солоня морська вода, непридатна для пиття й технологічного використання. Прісна вода, яку використовує людство для своїх потреб, становить лише 1% її загальної кількості на планеті, причому її містять річки, озера й підземні води. Річковий стік України становить у середньому 83,5 млрд. м<sup>3</sup>, а в посушливі роки зменшується до 48,8 млрд. м<sup>3</sup>. Підземні води України мають не менше значення для забезпечення водою населення: близько 70% населення сіл і селищ міського типу задовольняють свої потреби в питній воді за рахунок ґрунтових вод (колодязі) чи глибших водоносних горизонтів (свердловин). Стан підземних вод України в цілому кращий, ніж поверхневого стоку, хоча місцями вони забруднюються стоками промислових підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

Система показники використання та забруднення водних об'єктів складається з таких груп:

- показники забору та використання води;
- показники використання свіжої води;
- показники використання прісної води;
- показники використання та відведення свіжої води підприємствами галузей економіки;
- показники якості води;
- показники екологічної безпеки водних об'єктів;
- показники скидання забруднювальних речовин у водні об'єкти;
- показники очищення зворотних вод на очисних спорудах.

Статистика екології земельних ресурсів.

Земельні ресурси – одні з найбільш універсальних природних ресурсів, які необхідні для всіх галузей господарства. Найціннішою частиною земельних ресурсів є сільськогосподарські землі оскільки вони забезпечують людство продуктами харчування. Через діяльність людини, структура земної поверхні постійно змінюється: зменшуються площі сільськогосподарських угідь і лісів, структура ґрунтів деградує, вони перенасичені шкідливими хімічними сполуками, мають дефіцит вологи або перезволоженість, надлишок води в ґрунтах та їхню засоленість. Повсюдно родючість ґрунтів катастрофічно зменшується. Великих збитків сільському господарству завдає ерозія ґрунтів. Одне з найбільших лих після ерозії ґрунтів – їх засолення, основна причина якого полягає в неправильному зрошенні. Тому користуватися ґрунтом, землею слід розумно й бережно. Потрібні термінові заходи для відтворення структури й родючості ґрунтів – їх нейтралізація, розсолення, збагачення гумусом тощо [78].

Система показників екології земельних ресурсів.

При статистичному аналізі екології земельних ресурсів використовується система показників екологічного стану земель, до складу якої входять слідуєчі групи показників: показники порушення і рекультивації земель; показників стану та забруднення ґрунтів, показники санітарно-хімічного і мікробіологічного стану ґрунтів, показники забруднення ґрунтів, показники і напрямки природоохоронних витрат.

## **7.2 Абсолютні показники екологічних явищ**

Інформацію про соціальні явища статистика перетворює, накопичує і передає через відповідні числа. Але це не абстрактні числа, а статистичні показники, які уособлюють кількісно-якісні характеристики соціальних явищ і процесів.

Кількісний зміст статистичного показника виражається арифметичним числом та його вимірником. Якісний – залежить від суті явища (процесу) і виражається своєю назвою (процент розкриття злочинів, навантаження на слідчих, суддів, коефіцієнт значимості тощо).

Функції статистичних показників:

– Так, при вивченні соціально-економічних явищ дослідник всебічно аналізує його розвиток у просторі і часі, пізнає якісно, проникає у його суть. У цьому і виражається пізнавальна функція статистичних показників.

– Статистичні показники є важливим елементом та засобом процесу управління майже на всіх його рівнях. Завдяки ним приймаються управлінські рішення виробничого, організаційного, координуючого характеру тощо.

– Контрольна функція статистичних показників полягає у використанні їх при виявленні недоліків в організації виробництва, визначенні рівня (стану), виконання управлінських рішень, договірних зобов'язань та ін.

Статистичні показники повинні мати такі властивості:

– Адекватність – спроможність відображати та характеризувати ті властивості явищ і процесів, котрі досліджуються.

– Достовірність – відповідність реальному стану речей.

– Точність вимірювання – відповідність змісту показника, організації спостереження та обробки даних діючим вимогам і стандартам.

Класифікація показників:

За способом одержання:

– Первинні – одержують шляхом статистичного спостереження, зведення та групування.

– Вторинні (похідні) – розраховуються на основі перших.

За часовою ознакою:

– Моментні – дають кількісну характеристику явища на певний момент часу.

– Інтервальні – за період часу (доба, тиждень, декада, місяць, квартал, рік).

За формою:

– Абсолютні.

– Відносні.

– Середні.

Абсолютні сумарні та відносні величини являють собою узагальнені показники.

Ці показники, з одного боку, невід’ємні від методу зведення й групування, а з другого – їх узагальнене значення є початком наступної стадії статистичного дослідження – статистичного аналізу, у якому абсолютні й відносні величини відіграють визначальну роль.

Абсолютні величини – статистичні показники, що виражають розміри, обсяги якісно однорідних суспільних явищ (а в правовій статистиці – соціально-правових або кримінологічних) у властивих їм одиницях виміру. Крім того, вони є числами іменованими, тобто завжди мають певні одиниці виміру й розмірність.

Абсолютні величини мають велике наукове і практичне значення. За допомогою них можна мати уявлення про розміри злочинних явищ, кількість засуджених, кількість розглянутих цивільних позовів, відшкодуванні заподіяної шкоди. Деякі показники, які виражені в абсолютних показниках дуже переконливі. Так, наприклад, суди першої інстанції за I півріччя 2006 року розглянули справ і матеріалів цивільного судочинства 720,5 тис., а за I півріччя 2007 року 802 тис. справ. Наведені дані говорять про збільшення кількості цивільних спорів.

Розрізняють два види абсолютних величин: індивідуальні й загальні (сумарні).

Індивідуальні абсолютні величини виражають розміри кількісних ознак окремих одиниць сукупності (сума позову, термін покарання або вік злочинця, зарплата окремих працівників). Їх отримують безпосередньо у процесі статистичного спостереження і реєструють у формулярах спостереження. Вони служать базою для розрахунку загальних абсолютних величин і утворення груп за кількісними ознаками.

Загальні (сумарні) абсолютні величини виражають розміри, обсяги тієї або іншої ознаки всіх одиниць даної сукупності або окремих груп (число одиниць усієї сукупності або окремих її частин). Вони належать до узагальнених статистичних показників.

Загальні абсолютні величини одержують у процесі зведення та групування шляхом:

- підсумовування значень ознак окремих одиниць сукупності (загальна сума пред'явлених позовів);
- підрахунку числа одиниць сукупності (кількість позовів, зареєстрованих злочинів);
- спеціальних розрахунків.

Абсолютні величини – це завжди іменовані числа, що пов'язані з одиницею виміру.

Для вираження абсолютних величин статистика використовує такі одиниці виміру: натуральні, вартісні, трудові, одиниці часу та ін. Своєрідною одиницею виміру є одиниці сукупності явищ, речей, предметів, коли їх підраховують для визначення загальної кількості. Кожне явище, річ, випадок є одночасно і одиницею сукупності, і одиницею виміру.

Важливими сумарними абсолютними показниками в кримінально-правовій статистиці є рівень злочинності та рівень судимості (абсолютна кількість зареєстрованих злочинів та засуджених осіб). В цивільно-правовій статистиці абсолютні показники характеризують загальну кількість зареєстрованих і розглянутих цивільних справ, кількість осіб, які проходили

по тій чи іншій категорії справ, загальну суму завданих збитків. В адміністративно-правовій статистиці абсолютні показники дають змогу охарактеризувати загальну кількість виявлених правопорушень, розмір завданих збитків, розмір накладених штрафів.

Абсолютні показники є базовими. Будь-які статистичні операції (розрахунок абсолютних та середніх величин, індексів та коефіцієнтів, побудова статистичних рядів та встановлення їх кореляцій) базуються на абсолютних величинах.

Проте аналітичні можливості абсолютних величин обмежені. За абсолютними величинами, наприклад, важко зробити висновок про рівень злочинності в різних країнах, регіонах і практично неможливо відповісти на запитання, де злочинність вища, а де нижча, тому що країни, регіони відрізняються чисельністю населення, територією тощо. Аналогічно важко відповісти на запитання, в якому з правоохоронних органів розкриття злочинів вище.

### **7.3 Висновок до розділу «Екологія»**

В розділі екологія магістерської роботи проаналізовано статистику екології об'єктів природного середовища. Зокрема, розглянуто статистику екології атмосфери, водних та земельних ресурсів.

Також в розділі подано та проаналізовано абсолютні показники екологічних явищ.

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання дипломної роботи освітнього рівня «магістр» проведено аналіз предметної області, зокрема:

- досліджені інформаційні системи в проектах класу «Розумне місто»;
- подано опис концепції та визначення поняття «Цифровий двійник» в контексті його реалізації в міському середовищі;
- визначено цінність створення цифрових двійників в середовищі «розумного міста»;
- описано переваги від використання цифрових двійників у проектах «розумних міст»;
- сформовано мету та завдань дослідження.

В другому розділі дипломної роботи:

- цифровий двійник був розглянутий як система опрацювання «Великих даних» в сучасних проектах «розумних міст»;
- розглянуто різні архітектурні рішення спрямовані на опрацювання міських колекцій «Великих даних»;
- на основі інформаційних технологій «Великих даних» та компонентів «Інтернету речей» розроблена універсальна архітектура застосунків цифрових двійників для проектів класу «розумне місто»;
- подано теоретичні викладки алгоритму динамічної трансформації часової шкали, який буде використовуватися для пакетного опрацювання даних в застосунку цифрового двійника в «розумному місті».

В третьому розділі дипломної роботи:

- детально описано використовувані апаратно-програмні засоби хмарної платформи «розумного міста»;
- подано опис процесу розроблення програмного забезпечення «розумного» цифрового двійника;



– описано особливості розміщення застосунків у хмарній інфраструктурі «розумного міста».

В розділі «Спеціальна частина» описано результати тестування продуктивності розробленої інформаційно-технологічної системи.

В розділі «Обґрунтування економічної ефективності» розраховано основні техніко-економічні показники проведених досліджень.

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано професійне «вигорання» працівників галузі інформаційних технологій. Розглянуто вимоги до профілактики медичних оглядів. Досліджена оцінка стійкості роботи промислового підприємства до дії світлового випромінювання ядерного вибуху. Описано забезпечення захисту працівників суб'єкта господарювання від іонізуючих випромінювань.

В розділі «Екологія» описана статистика екології об'єктів природного середовища. Досліджено абсолютні показники екологічних явищ.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 D. Tabachyshyn, N. Kunanets, M. Karpinski, O. Duda, and O. Matsiuk, "Information Systems for Processes Maintenance in Socio-communication and Resource Networks of the Smart Cities", in *Advances in Intelligent Systems and Computing III*, vol. 871, pp 192-205, 2019. ISSN 2194-5365.
- 2 T. W. Mills. (Dec. 2015). Intel Corporation—Intel Labs Europe: Open Innovation 2.0. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/99033> – Дата доступу: 11.12.2019р.
- 3 F. Lécué, R. Tucker, V. Bicer, P. Tommasi, S. Tallevi-Diotallevi, and M. Sbodio, “Predicting severity of road traffic congestion using semantic Web technologies,” in Proc. ESWC, Crete, Greece, 2014, pp. 611–627.
- 4 Governing singapore smart city [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.governing.com/topics/economic-dev/gov-singaporesmartest-city.html> – Дата доступу: 11.12.2019р.
- 5 O. Duda, N. Kunanets, O. Matsiuk, and V. Pasichnyk, "Information-Communication Technologies of IoT in the "Smart Cities" Projects", *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2105, pp. 317-330, 2018. ISSN 1613-0073.
- 6 O. Duda, O. Matsiuk, M. Karpinski, N. Veretennikova, N. Kunanets, and V. Pasichnyk, "Information Technologies of Internet Devices and BigData in the “Smart Cities” Projects", in Proc. *13 Intern Scientific and Techn. Conf. on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, vol. 2, Lviv, 2018, pp. 72-75. ISBN: 978-1-5386-6465-0.
- 7 Open Data DK [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.odaa.dk> – Дата доступу: 11.12.2019р.
- 8 DataSF OPEN DATA SHOWCASE PUBLISHING ACADEMY RESOURCES [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://data.sfgov.org> – Дата доступу: 11.12.2019р.

---

9 Chicago Data Portal [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://data.cityofchicago.org> – Дата доступа: 11.12.2019г.

10 iCity Consortium. (Jun. 11, 2014). iCity Project. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.icityproject.eu/> – Дата доступа: 11.12.2019г.

11 B. Cheng, S. Longo, F. Cirillo, M. Bauer, and E. Kovacs, “Building a big data platform for smart cities: Experience and lessons from Santander,” in Proc. IEEE Int. Congr. Big Data, New York, NY, USA, Jun./Jul. 2015, pp. 592–599.

12 J. Soldatos et al., “OpenIoT: Open source Internet-of-Things in the cloud,” in Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things, I. P. Žarko, K. Pripužić, M. Serrano, Eds. Berlin, Germany: Springer, 2014, pp. 13–25.

13 D. Pfisterer et al., “SPITFIRE: Toward a semantic Web of things,” IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 11, pp. 40–48, Nov. 2011.

14 R. Giaffreda, “iCore: A cognitive management framework for the Internet of Things,” in The Future Internet, A. Galis and A. Gavras, Eds. Heidelberg, Germany: Springer, 2013, pp. 350–352.

15 V. Kochan et al, N. Kunanets, V. Pasichnyk, O. Roshchupkin, Anatoliy Sachenko, Iryna Turchenko, Oleksij Duda, Vita Semaniuk, Svitlana Romaniv, Oleksandr Matsiuk Sensing in IoT for Smart City Systems in *Proc. 10th IEEE Intern. Conf. on. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019)*, Metz, 2019 pp. 579-586.

16 O. Duda, V. Kochan, N. Kunanets, O. Matsiuk, V. Pasichnyk, and A. Sachenko, "Data Processing in IoT for Smart City Systems", in *Proc. 10th IEEE Intern. Conf. on. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019)*, Metz, 2019. pp. 96-99.

---

17 R. Stühmer, Y. Verginadis, I. Alshabani, T. Morsellino, and A. Aversa, “PLAY: Semantics-based event marketplace,” in Proc. IFIP Working Conf. Virtual Enterprise-Special Session Event-Driven Collaborative Netw., 2013, pp. 699–707.

18 F. Lécué et al., “Smart traffic analytics in the semantic Web with STAR-CITY: Scenarios, system and lessons learned in Dublin City,” Web Semantics, Sci., Services Agents World Wide Web, vols. 27–28, pp. 26–33, Aug./Oct. 2014.

19 Z. Zhao, W. Ding, J. Wang, and Y. Han, “A hybrid processing system for large-scale traffic sensor data,” IEEE Access, vol. 3, pp. 2341–2351, Nov. 2015.

20 О. М. Дуда та ін., "Актори та діаграми прецедентів системи консолідації соціокомунікаційних інформаційних ресурсів «розумних міст»", *Науковий вісник НЛТУ України*, вип. 27(10), с. 129-136, 2017. ISSN 2519-2477.

21 N. Kunanets, V. Pasichnyk, H. Lypak, and O. Duda, "Modeling of consolidated information resource for social data institutions", *Econtechmod an international quarterly journal*, vol. 6, №. 3, pp. 25-30, 2017. ISSN:2084–5715.

22 O. Duda, N. Kunanets, O. Matsiuk, V. Pasichnyk, and I. Popyk., "Geoinformational components of mobile appliances for “Smart City” problem solution: current state and prospects", *Econtechmod an international quarterly journal*, vol. 7, №. 2, pp. 31-38, 2018. ISSN:2084–5715.

23 Vital IoT [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://vital-iot.eu> – Дата доступу: 11.12.2019р.

24 xively.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://xively.com/platform/> – Дата доступу: 11.12.2019р.

25 Hi Reply [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.reply.eu/en/content/hi-reply> – Дата доступу: 11.12.2019р.

---

26 J.-P. Calbimonte, S. Sarni, J. Eberle, and K. Aberer, “XGSN: An open-source semantic sensing middleware for the Web of things,” in Proc. 7th Int. Conf. Semantic Sensor Netw., Riva Del Garda, Italy, 2014, pp. 1–6.

27 O. Fambon, É. Fleury, G. Harter, R. Pissard-Gibollet, and F. Saint-Marcel, “FIT IoT-LAB tutorial: Hands-on practice with a very large scale testbed tool for the Internet of Things,” in Proc. UbiMob, 2014, pp. 1–5.

28 O. Duda, N. Kunanets, O. Matsiuk, and V. Pasichnyk, "Cloud-based IT Infrastructure for “Smart City” Projects", in *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*. River Publishers, pp. 389-410, 2018. ISBN: 978-87-7022-013-2.

29 O. Duda, N. Kunanets, O. Matsiuk, and V. Pasichnyk, "Information-Communication Technologies of IoT in the "Smart Cities" Projects", *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2105, pp. 317-330, 2018. ISSN 1613-0073.

30 NYC BigApps 2015, accessed on Dec. 20, 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://bigapps.nyc/> – Дата доступа: 11.12.2019р.

31 Z. Khan, A. Anjum, K. Soomro, and M. A. Tahir, “Towards cloud based big data analytics for smart future cities,” *J. Cloud Comput.*, vol. 4, p. 2, Dec. 2015.

32 Amsterdam Smart City, accessed on Dec. 20, 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://amsterdamsmartcity.com/#/nl/home> – Дата доступа: 11.12.2019р.

33 Ponomarev, K.; Kudryashov, N. & Popelnukha, N. (2017). Main Principals and Issues of Digital Twin Development for Complex Technological Processes, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.0523-0528, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978- 3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria.

---

34 Шереметова Е.И., Потехин В.В. Распределенный анализ категориальных последовательностей для непрерывного производства // Современная техника и технологии, No 5 — 2017.

35 Kerdprasop K., Kerdprasop N. Feature Selection Technique to Improve Performance Prediction in a Wafer Fabrication Process //Latest Trends in Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology. – 2014. – С. 128- 133.

36 H. Ahmadi, A. Moosavian, and M. Khazaei, "An appropriate approach for misalignment fault diagnosis based on feature selection and least square support vector machine," International Journal of Mechanics, vol. 6, issue 2, 2012, pp. 97-104.

37 Dumitru A. M., Merticariu V., Baumann P. Array Database Scalability: Intercontinental Queries on Petabyte Datasets //Proceedings of the 28th International Conference on Scientific and Statistical Database Management. – ACM, 2016. – С. 25.

38 Hassanien A. E. et al. (ed.). Big data in complex systems: challenges and opportunities. – Springer, 2015. – Т. 9.

39 Agrawal R. and Srikant R. Mining Sequential Patterns // In ICDE 1995, Taipei, Taiwan. March 1995.

40 Rabl T. et al. Just can't get enough: Synthesizing big data //Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. – ACM, 2015. – С. 1457-1462.

41 Kakderi, Christina, Nicos Komninos, and Panagiotis Tsarchopoulos. "Smart cities and cloud computing: Introduction to the special issue." *Journal of Smart Cities* 1.2 (2019): 1-3.

42 Mohammadi, Neda, and John Taylor. "Devising a Game Theoretic Approach to Enable Smart City Digital Twin Analytics." *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*. 2019.

---

43 Farsi, Maryam, et al. "Digital Twin Technologies and Smart Cities." *London: Springer* 10 (2020): 978-3.

44 Zheng, Lei, et al. "Digital Government, Smart Cities and Sustainable Development." *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*. ACM, 2019.

45 Tao, Fei, Meng Zhang, and Andrew Yeh Chris Nee. *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*. Academic Press, 2019.

46 López-Jurado, María Pilar, and Ana M. Lauroba Pérez. "Digital Assets Horizon in Smart Cities: Urban Congestion Management by IoT, Blockchain/DLT and Human Reinforcement." *Modelling and Simulation in Management Sciences: Proceedings of the International Conference on Modelling and Simulation in Management Sciences (MS-18)*.. Vol. 894. Springer, 2019.

47 Hyman, Barbara, Zahra Alisha, and Scott Gordon. "Secure Controls for Smart Cities; Applications in Intelligent Transportation Systems and Smart Buildings." (2019).

48 Lakshmanaprabu, S. K., et al. "An effect of big data technology with ant colony optimization based routing in vehicular ad hoc networks: Towards smart cities." *Journal of cleaner production* 217 (2019): 584-593.

49 Tang, Chaogang, et al. "Fog-Enabled Smart Campus: Architecture and Challenges." *International Conference on Security and Privacy in New Computing Environments*. Springer, Cham, 2019.

50 Herrera-Quintero, Luis Felipe, et al. "ITS for Smart Parking Systems, towards the creation of smart city services using IoT and cloud approaches." *2019 Smart City Symposium Prague (SCSP)*. IEEE, 2019.

51 Ullusar, Umit Deniz, Deniz Gul Ozcan, and Fadi Al-Turjman. "Open Source Tools for Machine Learning with Big Data in Smart Cities." *Smart Cities Performability, Cognition, & Security*. Springer, Cham, 2020. 153-168.

---

52 Lemeš, Samir, and Lamija Lemeš. "Blockchain in Distributed CAD Environments." *International Conference "New Technologies, Development and Applications"*. Springer, Cham, 2019.

53 Cronemberger, Felipe, and J. Ramon Gil-Garcia. "Big Data and Analytics as Strategies to Generate Public Value in Smart Cities: Proposing an Integrative Framework." *Setting Foundations for the Creation of Public Value in Smart Cities*. Springer, Cham, 2019. 247-267.

54 Lakshmanaprabu, S. K., et al. "An effect of big data technology with ant colony optimization based routing in vehicular ad hoc networks: Towards smart cities." *Journal of cleaner production* 217 (2019): 584-593.

55 Allam, Zaheer, and Zaynah A. Dhunny. "On big data, artificial intelligence and smart cities." *Cities* 89 (2019): 80-91.

56 Soomro, Kamran, et al. "Smart city big data analytics: An advanced review." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* (2019): e1319.

57 Kadam, Vrushali Gajanan, Sharvari Chandrashekhar Tamane, and Vijender Kumar Solanki. "Smart and connected cities through technologies." *Big Data Analytics for Smart and Connected Cities*. IGI Global, 2019. 1-24.

58 Tigwell, Garreth W., et al. "Traffic Analysis in a Smart City." *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence-Volume 24800*. ACM, 2019.

59 Ogawa, Keigo, et al. "IoT Device Virtualization for Efficient Resource Utilization in Smart City IoT Platform." *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*. IEEE, 2019.

60 Suma, Sugimiyanto, Rashid Mehmood, and Aiiad Albeshri. "Automatic Detection and Validation of Smart City Events Using HPC and Apache Spark Platforms." *Smart Infrastructure and Applications*. Springer, Cham, 2020. 55-78.



---

61 Bruneo, Dario, et al. "An iot service ecosystem for smart cities: The smartme project." *Internet of Things* 5 (2019): 12-33.

62 Herrera-Quintero, Luis Felipe, et al. "ITS for Smart Parking Systems, towards the creation of smart city services using IoT and cloud approaches." *2019 Smart City Symposium Prague (SCSP)*. IEEE, 2019.

63 Toma, Cristian, et al. "IoT Solution for Smart Cities' Pollution Monitoring and the Security Challenges." *Sensors* 19.15 (2019): 3401.

64 Jaloudi, Samer. "MQTT for IoT-based Applications in Smart Cities." *Palestinian Journal of Technology and Applied Sciences (PJTAS)* 2 (2019).

65 Bruneo, Dario, et al. "A Cloud-Based Overlay Networking for the Internet of Things: Quantitative Evaluation." *Systems Modeling: Methodologies and Tools*. Springer, Cham, 2019. 237-250.

66 Starovojt, O. (2014), "Uncertainty and emotional burnout of the individual as barriers to innovation", *Visnyk Instytutu rozvytku dytyny. Ser.: Filosofiia, pedahohika, psykhohohiia*, vol. 36, pp. 50–57.

67 Ershov, A. (1994), *O chelovecheskom y estetycheskom faktorakh v prohrammyrovanyy* [On the human and aesthetic factors in programming], Nauka, Novosybyrsk, Ru.

68 Shnejderman B. *Psykhohohiia prohrammyrovanyia: Chelovecheskye faktory v vychyslytel'nykh y ynformatsyonnykh systemakh* [Psychology of programming: Human factors in computing and information systems], Moscow, Ru.

69 Shnajder O. Psykhohohichni osoblyvosti emotsijnoho vyhorannia pratsivnykiv sfery informatsijnykh tekhnolohij / O. Shnajder // Naukovi zapysky Natsional'noho universytetu «Ostroz'ka akademiia». Ser. Psykhohohiia i pedahohika. – 2016. – Vyp. 26. – S. 144–148.

---

70 КАБІNET МІНІСТРІВ УКРАЇНИ. ПОСТАНОВА від 23 травня 2001 р. № 559 Про затвердження переліку професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим профілактичним медичним оглядам, порядку проведення цих оглядів та видачі особистих медичних книжок [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-2001-%D0%BF> [Заголовок з екрану].

71 МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ. НАКАЗ. Про затвердження Положення про порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-94> [Заголовок з екрану].

72 Левон М.С. Система факторів, впливаючих на продуктивність праці в іт-фірмах // *Економіка, Статистика і Інформатика*. – 2015. – №3. С.127-128.

73 Желібо, Євген Петрович, and І. С. Сагайдак. "Безпека життєдіяльності." (2011).

74 Депутат, О. П., І. В. Коваленко, and І. С. Мужик. "Цивільна оборона. Підручник/За ред. Полковника ВС Франчука.–2-ге вид., доп." *Львів, Афіша* (2001).

75 Желібо, Євген Петрович, and І. С. Сагайдак. "Безпека життєдіяльності." (2011).

76 Депутат, О. П., І. В. Коваленко, and І. С. Мужик. "Цивільна оборона. Підручник/За ред. Полковника ВС Франчука.–2-ге вид., доп." *Львів, Афіша* (2001).

77 Бобильов, Ю. П., et al. "Екологія: базовий підручник для студентів вищих навчальних закладів." (2014).

78 Малимон, С. С. Основи екології: Підручник.–Вінниця. Нова Книга, (2009).