

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

ДУДА ОЛЕКСІЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 004.032.2:004.031:004.415.2

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
СУПРОВОДУ ПРОЦЕСІВ У МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА
СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Пасічник Володимир Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри інформаційних систем та мереж.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Томашевський Валентин Миколайович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри автоматизованих систем обробки
інформації та управління;

кандидат технічних наук,
Лендюк Тарас Васильович,
Тернопільський національний економічний університет,
старший викладач кафедри інформаційно-обчислювальних
систем і управління.

Захист відбудеться 12 березня 2020 року об 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.06 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий 10 лютого 2020 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради



Загородна Н.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні великі міста є високотехнологічними та інноваційними соціальними осередками, які генерують процеси зростання міграції населення та інтенсифікують потреби видобування, накопичення, постачання та споживання якнайширшого спектру різнотипових ресурсів. Природа ресурсів, які споживаються міським соціумом, є як матеріальною – вода, газ, електроенергія та тепло, так і інформаційною – бібліотечні, архівні, музейні, засобів масової інформації та т. ін. Концепт «розумне місто» є однією із сучасних візій прообразу міста майбутнього, як інноваційної моделі трансформації міського середовища з використанням широкого спектру інформаційних та комунікаційних технологій, що дозволяють реалізувати якісні зміни у різнопланових міських системах. Головною метою формування інноваційного високотехнологічного середовища сучасного «розумного міста» є ефективне задоволення широкого спектру потреб та запитів мешканців та гостей, надання послуг та сервісів з урахуванням індивідуальних потреб окремих осіб, міських спільнот та міської громади загалом.

Значні вагомні результати за профілем наукових розвідок, які кореспондуються з тематикою цього дисертаційного дослідження належать Л.-Г. Крету, К. Кортіт, Р. Нікампа, С. Зоґіарісу, Н. Комнінос, В. Альбіно, Ж. Сантосу, В. Хаммі, С. Реку, Б. Фахра, Ж. Фернандесу-Муньйосу, Л. Санчосу, С. Хоферу, Р. Лі, Д. Гіна, Д. Домінга, Р. Марті, А. Гаура, Л. Атзорі, Е. Борджа, К. Хабака, М. Чанга, П. Шину, М. Тортонессі, М. Гоулу, А. Хосейніан-фара, А. Енаета, Б. Бутчу, В. Глушкову, А. Стогнію, Й. Броні, В. Пірняку, В. Левонюку, М. Приймаку, Б. Яворському, Я. Бацалу, О. Бойку та ін.

Аналіз проведених на цей час наукових досліджень засвідчив, що основна увага вчених зазвичай сконцентрована на розробленні моделей, що відображають процеси, які відбуваються в окремо виділених міських ресурсних або соціокомунікаційних мережах, котрі обслуговуються зазвичай одним постачальником ресурсів та надавачем послуг. В багатьох випадках результати досліджень не знаходять практичного втілення, оскільки потребують поглибленого вивчення та додаткових досліджень питання розроблення та ефективного використання інформаційних технологій супроводу процесів, що протікають у множині міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж. Зокрема недостатньо опрацьовані питання розроблення інформаційних технологій для зберігання колекцій даних з урахуванням різної природи ресурсів як фізичних, так і соціокомунікаційних, що в умовах великого міста подаються обширними множинами характеристик та одночасового функціонування декількох типів ресурсних мереж та надавачів відповідних послуг. Проведене в процесі дисертаційного дослідження системно-аналітичне опрацювання ключових етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають як в ресурсних, так і соціокомунікаційних мережах великого міста шляхом розроблення відповідних інформаційних технологій підтвердило актуальність постановки та розв'язання відповідної наукової задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені І. Пулюя.

Робота проводилась зокрема в рамках наступних науково-дослідних тем: «Класи соціокомунікаційних технологій в проектах «Розумне місто»» (2017–2019 рр., державний реєстраційний № 0117U002240) – дисертанту належить розроблення архітектури програмно-алгоритмічного комплексу для консолідації міських соціокомунікаційних ресурсів; «Класи інформаційних технологій в проектах «Розумне місто»» (2017–2019 рр., державний реєстраційний № 0117U002241) – як відповідальний виконавець теми, дисертантом виконане розроблення архітектури програмно-алгоритмічного комплексу для супроводу процесів у міських ресурсних мережах. Дослідження проводились пошукувачем, як виконавцем науково-дослідної роботи «Науково-освітнє соціокомунікаційне середовище великого міста: моделювання, прототипування, інформаційні технології» у Національному університеті «Львівська політехніка» (2016–2019 рр., державний реєстраційний № 0116U006723) – розділ 3.7.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ступеня повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах шляхом розроблення моделей, методів та інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень під час надання інформаційно-технологічних послуг і сервісів.

У відповідності до мети в дисертаційній роботі поставлені наступні завдання:

- провести аналіз особливостей, недоліків та переваг існуючих інформаційних технологій та систем, що використовуються для супроводу процесів, які протікають в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах;
- розробити метод опрацювання подій у міських ресурсних мережах, котрий враховував би різнотипову природу міських мережевих ресурсів;
- розробити метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» та запропонувати максимально-повний перелік їх атрибутів;
- розробити метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних.
- розробити інформаційну технологію багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах;
- розробити інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

Об’єкт дослідження – процеси постачання ресурсів та формування сервісів для надання інформаційних послуг.

Предмет дослідження – моделі, методи та засоби формування процедур інформаційно-технологічного супроводу процесів постачання ресурсів та надання інформаційних послуг і сервісів мешканцям та гостям великого міста.

Методи дослідження. Для розв’язання поставлених в дисертаційній роботі завдань використано: методи сформовані на основі системного аналізу, методи багатовимірного аналізу даних, теоретичні засади побудови сховищ даних, методи нормалізації баз даних, метод аналізу ієрархій, методи веб-програмування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено інформаційну технологію багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах на основі методології

побудови гіперкубів даних з використанням запропонованої множини категорій та атрибутів, що використовуються для опису процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста»;

- вперше розроблено метод опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста», який на відміну від існуючих, враховує різнотипову природу міських мережевих ресурсів та може використовуватись для оперативного реагування на зміну станів множини ресурсних мереж;

- вперше розроблено інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, яка на відміну від існуючих передбачає врахування чисельних наборів різноманітних параметрів міського середовища та реалізована у вигляді послідовних функціональних етапів;

- отримав подальший розвиток методу аналізу ієрархій використаний для вирішення задачі вибору категорії засобів аналітичного опрацювання міських колекцій даних, яка на відміну від існуючих, враховує особливості розширеного набору атрибутів «Великих даних»;

- отримав подальший розвиток метод вибору платформи для аналітичного опрацювання міських колекцій даних, який враховує особливості характеристик та параметрів інформаційно-технологічних платформ аналітичного опрацювання та реалізований на основі методу аналізу ієрархій.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено прототипи програмно-алгоритмічних комплексів, які реалізують інформаційні технології супроводу процесів, що протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за критерієм «чисельність населення» міста. Сформовано дві цілісні системи інформаційно-технологічного супроводу процесів, які протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Розроблені прототипи використано у муніципальних установах для надання персоналізованих рекомендацій щодо режимів використання ресурсів, що в свою чергу дозволяє зменшувати сумарну вартість послуг та допомагає оптимізувати навантаження на міські ресурсні мережі. Також розроблено інформаційно-технологічні засоби для супроводу процесів, що протікають у соціокомунікаційному середовищі «розумного міста», і використані у муніципальних установах, що дозволило підвищувати ефективність опрацювання різнотипових запитів мешканців та гостей великого за ознакою «чисельність населення» міста.

Окремі положення дисертаційного дослідження впроваджені та використовуються у роботі товариства з обмеженою відповідальністю Ремонтно-механічний завод «Обрій» (м. Тернопіль, акт про впровадження від 23.09.2019 р.), товариства з обмеженою відповідальністю «Укрзахідспецмонтаж» (м. Тернопіль, акт про впровадження від 3.09.2019 р.), Державного архіву Тернопільської області (м. Тернопіль, акт про впровадження від 10.09.2019 р.), впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, акт про впровадження від 25.09.2019 р.) та кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів, акт про впровадження від 27.09.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення та основні результати, які містяться в дисертації, отримані здобувачем самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: [1] – розроблення схеми взаємодії інформаційних технологій, розширеної трирівневої архітектури «розумного міста», схеми взаємодії категорій хмарних сервісів в «розумних містах», розширеної архітектури центру аналітичного опрацювання даних «розумного міста» та обчислювальної архітектуру контекстно-залежних сервісів «розумного міста»; [2], [3] – опис властивостей змінних; [4] – структурна схема автоматизованої системи; [5] – елементи діаграми прецедентів системи; [6] – розроблення переліку компонентів концерту «розумне місто», схеми взаємодії інформаційних технологій, IoT-інфраструктури та архітектури інформаційно-технологічної платформи «розумного міста»; [7], [33] – розроблення функціональної діаграми консолідації інформаційних ресурсів; [8] – формування складових елементів архітектури «розумного міста»; [9] – розроблення схеми інтеграції структурних елементів проекту; [10] – розроблення контексної діаграми консолідації соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста»; [11] – формування функціональних характеристик інформаційних технологій OLAP та «Великих даних»; [12] – формування множини атрибутів якості; [15] – розроблення структурної схеми передачі інформації в автоматизованій системі контролю й обліку телеметричної інформації; [16], [19] – розроблення структурної схеми системи для дистанційного обліку телеметричної інформації; [17] – розроблення комбінованої схеми передачі телеметричної інформації; [18] – формування службових модулів автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників; [20] – формування програмних компонент автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників; [22] – розроблення структурної схеми інтеграції нейромережі в систему дистанційного обліку телеметричних показників; [24] – формування критеріїв оцінювання «розумності» міст; [25] – формування етапів формування концепту «розумне місто»; [26], [28], [29] – формування класів інформаційних технологій; [27], [30] – формування етапів моделювання та макетування процесів формування соціокомунікаційного середовища міста; [31] – формування рівнів реалізації архітектури інформаційно-технологічної платформи проектів класу «розумне місто»; [32], [47] – елементи сценаріїв використання консолідованого інформаційного ресурсу; [34] – розроблення розширеної архітектури «розумного міста», схеми взаємодії категорій хмарних сервісів в «розумних містах» та архітектури центру аналітичного опрацювання даних «розумного міста»; [35], [40], [45], [46] – розроблення узагальненої архітектури проектів класу «розумне місто» із застосуванням IoT; [36] – формування типів задач, пов'язаних з використанням «Великих даних»; [37] – формування характеристик «великих даних» поданих у вигляді 10v; [38] – класифікація методів аналітичного опрацювання великих даних; [39] – формування множини джерел великих даних в міському середовищі; [40] – розроблення UML «діаграми діяльності» для етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумних міст»; [42] – множина категорій атрибутів для інформаційного опису процесів, що протікають в ресурсних мережах «розумного міста» та схема їх агрегування; [43] – багат шаровий граф для опису структури проектованої мережі; [44] – формування категорій та характеристик обладнання для LTE; [45] – розроблення контексної діаграми інформаційної системи супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста».

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати проведених досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-технічних конференціях, зокрема: дев'ятій та десятій наукових конференціях Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2005 р. та 2006 р.); XIV-XVI наукових конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2010–2012 рр.); I, III та V науково-технічних конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2011 р., 2013 р. та 2018 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (м. Луцьк, 2016 р.); міжнародних науково-практичних конференціях молодих вчених та студентів «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» (м. Чернівці, 2016 р. та 2017 р.); 18-й Міжнародній науково-технічній конференції SAIT 2016 (м. Київ, 2016 р.); XII та XIII міжнародних науково-практичних конференціях (м. Миколаїв, 2016 р. та 2017 р.); III та V Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та взаємодії» (м. Київ, 2016 р. та 2017 р.); Міжнародній науковій конференції молодих науковців, аспірантів та студентів (ITAЕ-2016) (м. Рівне, 2016 р.); 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2017) (м. Бухарест, Румунія, 2017 р.); Міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми математичного моделювання, обчислювальних методів та інформаційних технологій" (м. Рівне, 2018 р.); Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2018» (м. Херсон, 2018 р.); 13 and 14 International Scientific and Technical Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (м. Львів, 2018 р. та 2019 р.); XV Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами: стан та перспективи» (м. Миколаїв, 2019 р.); 10th IEEE International Conference on. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019) (м. Мец, Франція, 2019 р.). Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на наукових семінарах кафедр «Комп'ютерні науки» та «Інформатика та математичне моделювання» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 47 наукових працях, у тому числі 9 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 5 у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus [6], [9]–[12]; 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, з яких 2 включені до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus [7], [8]; розділ рецензованої колективної монографії, внесеної до міжнародної наукометричної бази даних Scopus [1]; 34 публікації у працях міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-технічних конференцій, з яких 6 включено до міжнародної наукометричної бази даних Scopus [34], [40], [43]–[46], у тому числі 3 закордонних [34], [45], [46].

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 238 найменувань та 12 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 233 сторінки, з них 127 сторінок основного тексту, який містить 63 рисунків, з яких 6 рисунків розміщено на окремих аркушах, та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, подано загальну характеристику дисертації, висвітлено наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення, а також подано відомості щодо апробації результатів, їх висвітлення в наукових працях дисертанта та особистий творчий внесок здобувача.

У першому розділі проведено огляд теоретичних методологічних основ створення та застосування інформаційної технології (ІТ) для реалізації концепції «розумного міста», котра зазвичай реалізується в складному міському середовищі, яке включає множину складних інфраструктурних систем, поведінку мешканців та гостей міста, технології, соціальні та політичні структури, економіку, тощо. У проектах «розумних міст» зазвичай формуються науково-обґрунтовані методи керування міськими компонентами та підсистемами, соціокомунікаційними ресурсами та процесами подання муніципальних послуг.

За результатами аналізу наукових джерел та існуючого програмного забезпечення, проведеного відповідно до проблематики дисертаційного дослідження, виокремлено базові класи інформаційних та комунікаційних технологій, які використовуються для супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах сучасних «розумних міст»: «Інтернет речей» (англ. Internet of Things – IoT) – IT_{IoT} ; «Туманні обчислення» (англ. Fog Computing) – IT_{FC} ; «Хмарні обчислення» (англ. Cloud Computing) – IT_{CC} ; «Інформаційні моделі» (англ. Information Models – IM) – IT_{IM} ; Технології «Інтелектуального опрацювання даних» (англ. Intelligent Data Processing – IDP) – IT_{IDP} . Відомості щодо реалізованих на даний час інформаційно-технологічних платформ (ІТР) для потреб «розумних міст» подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика існуючих ІТР для потреб «розумних міст»

Базові функції	Платформи								
	iCity	SmartSantandler	OpenIoT	iCore	SpitFire	PLAY	StarCity	VITAL	CityPulse
Агрегація даних за допомогою IoT-пристроїв	так	так	так	так	так	так	так	так	так
Агрегація даних з соціокомунікаційних джерел	ні	так	ні	ні	ні	так	так	так	ні
Семантичний супровід даних	частково	частково	так	так	так	ні	так	так	так
Визначення подій	ні	ні	ні	ні	ні	так	так	ні	ні
Аналітичне опрацювання даних	ні	ні	ні	ні	ні	так	так	ні	так
Підтримка розроблення застосунків	так	так	частково	частково	частково	ні	ні	частково	так

Проведений аналіз показав, що практично відсутні комплексні інформаційно-технологічні рішення щодо супроводу процесів в ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст», а тому існує об'єктивна необхідність розроблення оригінальної інформаційно-технологічної платформи для супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великих за ознакою «кількість мешканців»

міст. Окрім цього, з врахуванням специфіки поставлених задач та існуючих методів їх розв'язання, сформульовано основні завдання дисертаційного дослідження.

Другий розділ містить опис розробленої інформаційної технології багатовимірної аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах на основі якої сформовано набори характеристик відповідних сховищ даних. Множина категорій та атрибутів RA , що використовуються для опису процесів у ресурсних мережах «розумного міста» кластеризована та подана наступним чином:

$$RA = \langle RA_{net} \cup RA_{GEO} \cup RA_{IoT} \cup RA_{sens} \cup RA_{val} \cup RA_{usr} \cup RA_{prov} \rangle, \quad (1)$$

де $RA_{net} = \{RA_{net}^R\}$, $R = \{Water, Hot, Electro, Gas\}$ – атрибути кожної окремо взятої ресурсної мережі «розумного міста», зокрема мережі водопостачання (Water), тепломережі – (Hot), електромережі (Electro) та мережі газопостачання (Gas); RA_{GEO} – категорія геолокаційних атрибутів; RA_{IoT} – категорія атрибутів характеристик та властивостей IoT-пристроїв; RA_{sens} – категорія атрибутів для характеристик та властивостей давачів, лічильників та витратомірів інтегрованих на множині RA_{net} ; RA_{val} – категорія атрибутів для опису облікованих величин послуг наданих ресурсними мережами «розумного міста» з множини RA_{net} ; RA_{usr} – категорія атрибутів опису індивідуальних споживачів послуг; RA_{prov} – категорія атрибутів опису виконавців комунальних послуг.

Багатовимірний аналіз даних щодо процесів у ресурсних мережах «розумного міста» передбачає дослідження та аналіз характеристик муніципальних ресурсних мереж, включаючи вибір множини атрибутів, що використовуються для параметризації відповідної інформаційної моделі (ІМ) (див. рисунок 1). Атрибути гіперкуба даних, що використовується для інформаційно-технологічного супроводу процесів у соціокомунікаційних мережах «розумного міста» організовані подібним чином.

Множина категорій та атрибутів SA , що використовують для опису процесів у соціокомунікаційних мережах «розумного міста»:

$$SA = \langle SA_{org} \cup SA_{clases} \cup SA_{res} \cup SA_{GEO} \cup SA_{usr} \cup SA_{query} \rangle, \quad (2)$$

де $SA_{org} = \{SA_{org}^S\}$, $S = \{Archives, Museum, Biblio, Gouvernement, ZMI\}$ – атрибути кожної окремої категорії соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста», зокрема архівних (Archives), музейних – (Museum), бібліотечних (Biblio), урядових установ (Gouvernement) та засобів масової інформації (ZMI); SA_{clases} – категорія атрибутів для характеристик та властивостей класифікації інформаційних сутностей соціокомунікаційних ресурсів; SA_{res} – категорія атрибутів характеристик та властивостей інформаційних соціокомунікаційних ресурсів; SA_{GEO} – категорія геолокаційних атрибутів; SA_{usr} – категорія атрибутів опису індивідуальних споживачів послуг соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста»; SA_{query} – категорія атрибутів опису інформаційних та пошукових запитів щодо соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста».

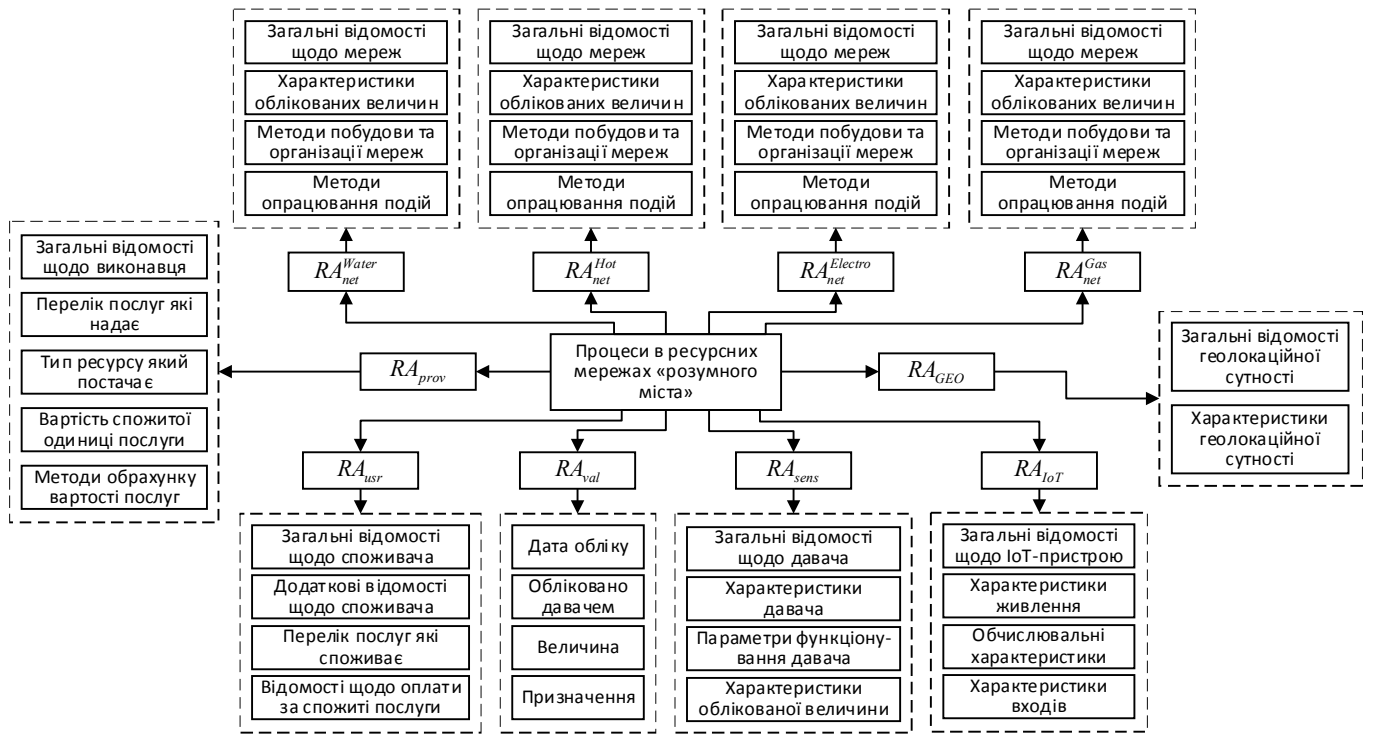


Рисунок 1 – Атрибути гіперкуба даних, що використовуються для інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»

Значення, вимірів (атрибутів) уздовж кожної осі гіперкуба даних ресурсних мереж «розумного міста», ієрархічно об'єднуються в один, або декілька рівнів. Це дозволяє утворювати ієрархічні виміри для подальшого аналізу даних з метою їх агрегації, або деталізації. Ієрархічне об'єднання рівнів та вимірів гіперкуба даних для соціокомунікаційних мереж (див. рисунок 2) відбувається подібно до агрегації даних ресурсних мереж «розумного міста».

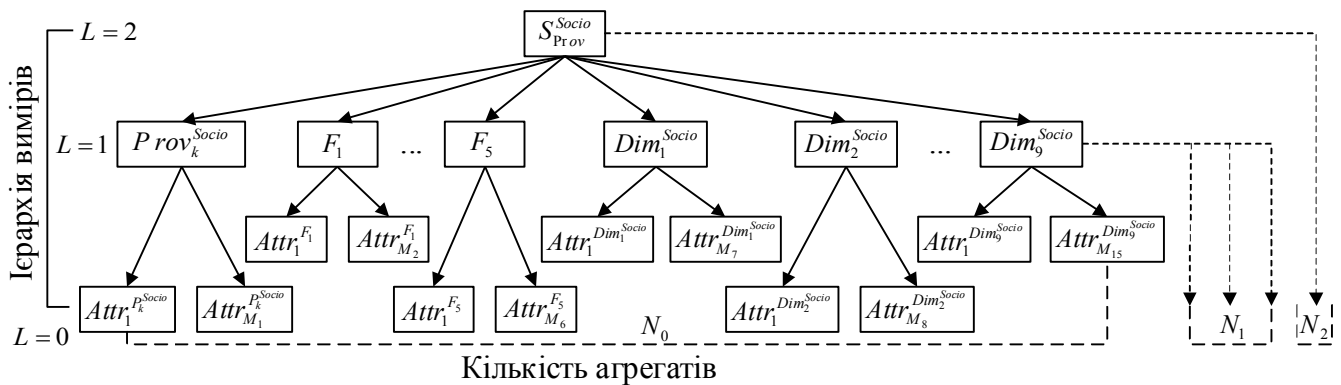


Рисунок 2 – Агрегація гіперкуба даних соціокомунікаційних мереж «розумного міста». Одновимірне подання

Розроблені багатовимірні моделі даних ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» забезпечили можливість розроблення цілісної оригінальної інформаційної технології багатовимірного аналізу даних в ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Приклади гіперкубів даних для ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» подано на рисунку 3.

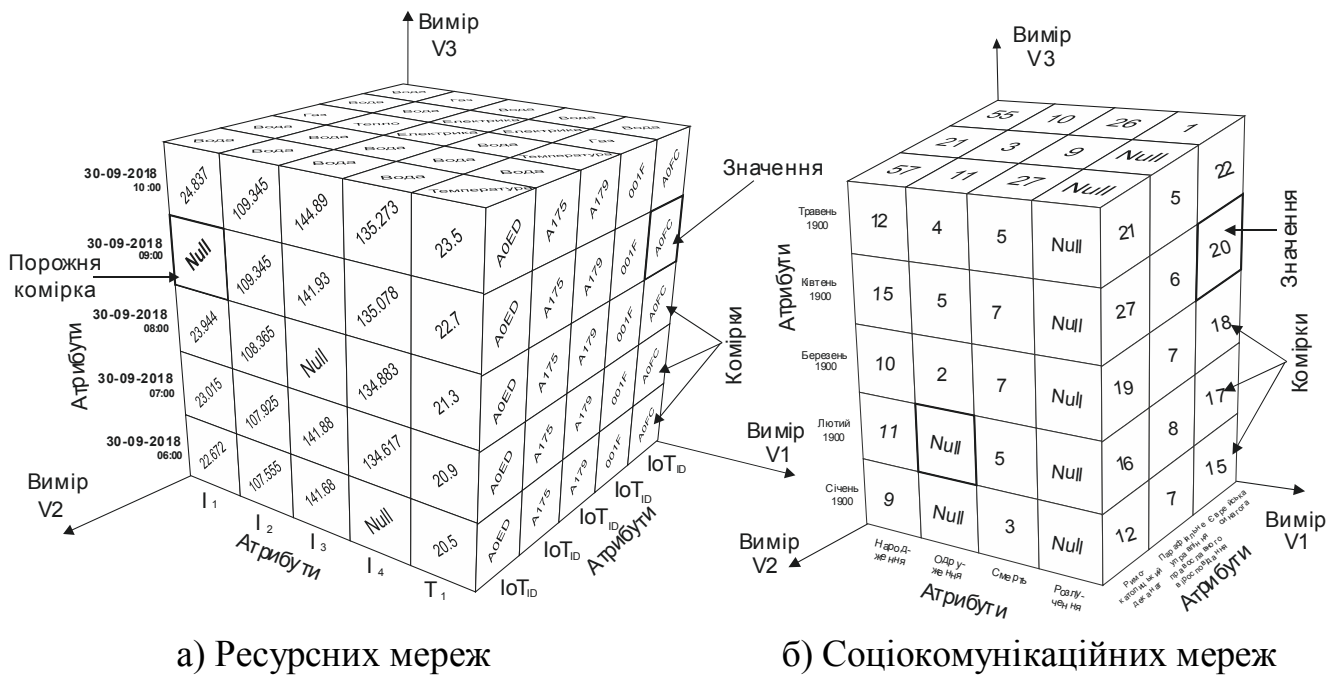


Рисунок 3 – Гіперкуби даних «розумного міста»

На основі розробленої інформаційної технології багатовимірного аналізу даних в ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста» спроектовано структуру сховищ даних (СД) для ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста». В окремому параграфі подано опис процедур нормалізації баз даних та етапи їх опрацювання в процесі їх імпорту до СД «розумного міста».

У **третьому розділі** подано *метод опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста»*. Постачання необхідних ресурсів у мережах «розумних міст» передбачає використання множини ресурсних мереж. Зокрема, в Тернополі розгорнуті ресурсні мережі постачання води, тепла, газу та електроенергії. В кожній з ресурсних мереж (РМ) на даний час функціонує лише один провайдер, водночас відповідно до «Закону України про житлово-комунальні послуги» та «Закону України про захист економічної конкуренції» в короткотривалій перспективі кількість постачальників (провайдерів) житлово-комунальних послуг та операторів міських ресурсних мереж буде збільшуватись.

Метод опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста» передбачає реалізацію семи етапів поданих на рисунку 4 у вигляді діаграми діяльності. При реалізації розробленого методу опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста» використовуються наступні позначення: $R = \{R_i\}, i = \overline{1, n}$ – множина ресурсів для яких в місті функціонують відповідні мережі постачання; $P^R = \{P_j^{R_i}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – множина провайдерів для кожної ресурсної мережі; $S^R = \{S_j^{R_i}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – множина споживачів кожного з видів ресурсів.

Метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних».

За результатами поглибленого аналізу було сформовано перелік характеристик «Великих даних», який подано у форматі «10V», що містить атрибути: обсяг (volume), швидкість (velocity), різноманітність (variety), валідність (validity), значення (value), точність (veracity), видимість (visibility), віртуальність (virtual), мінливість (variability) та валентність (valence).

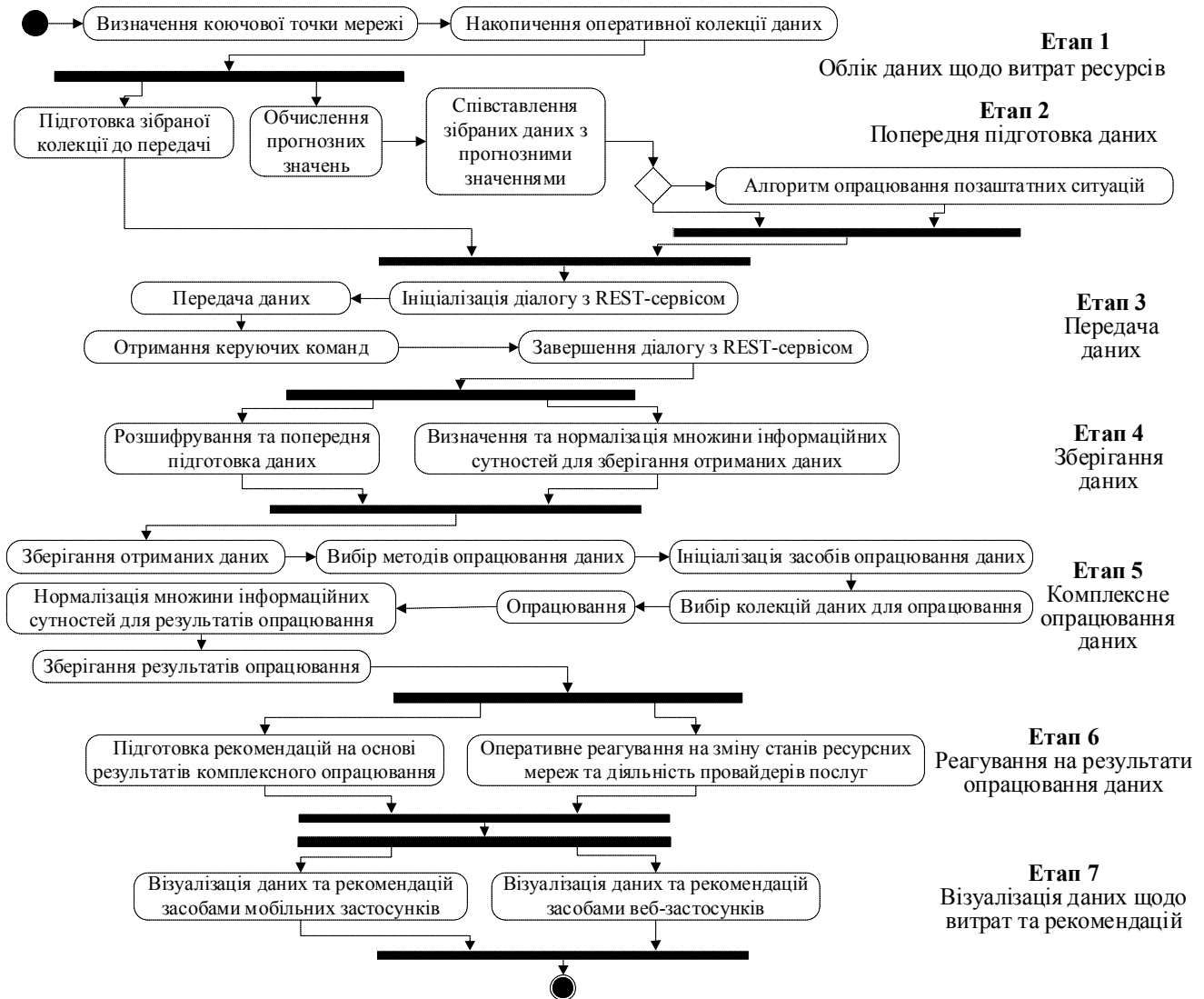


Рисунок 4 – Діаграма діяльності для методу опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста»

Подальший розвиток уявлень щодо концепту «Великих даних» невідворотно веде до розширення поданого набору властивостей. $V^{BigData}(Attr^{BigData})$ – множина атрибутів, що описують «Великі дані», а $Attr^{BigData} = \{Attr_i^{BigData}, i = \overline{1,10}\}$ – атрибути які подають зафіксовані вище характеристики.

$$Attr^{BigData} = \left\{ \begin{array}{l} volume, velocity, variety, validity, value, veracity, \\ visibility, virtual, variability, valence \end{array} \right\}. \quad (3)$$

Вибір категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» для потреб «розумного міста» виконано за допомогою одного з відомих методів експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів для аналізу ієрархій. Для реалізації методу аналізу ієрархій побудовано ієрархію з тривірневою структурою (див. рисунок 5). На другому рівні розміщується множина критеріїв, відповідно до яких здійснюється вибір альтернативних категорій засобів аналітичного опрацювання (MABD) міських колекцій «великих даних». В

якості критеріїв використано подану вище множину атрибутів опису «Великих даних» $Attr^{BigData}$. В якості альтернатив розглянуто ряд засобів аналітичного опрацювання «Великих даних», зокрема: кероване машинне навчання, некероване машинне навчання, видобування даних, статистичний аналіз, візуалізація даних.

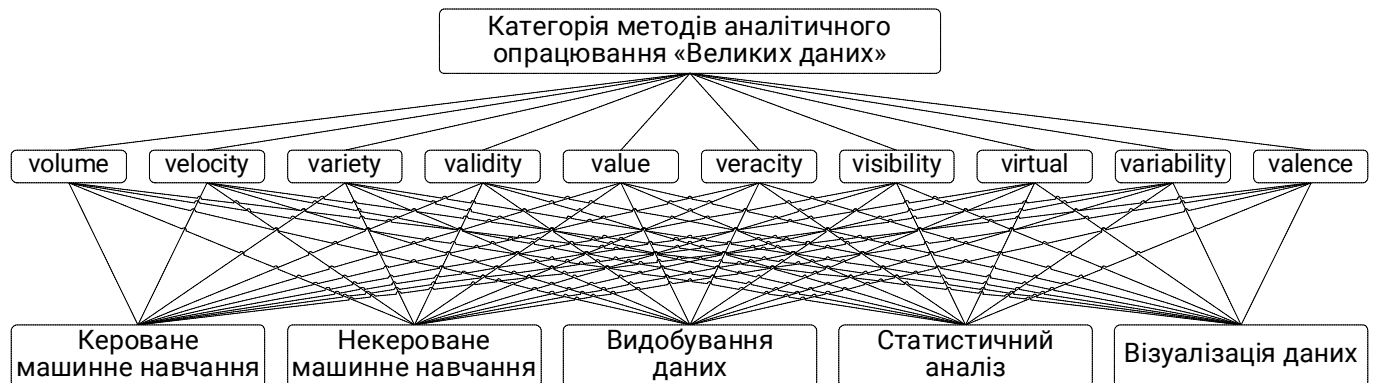


Рисунок 5 – Структура задачі прийняття рішень методом аналізу ієрархій щодо вибору категорії засобів аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних»

Найкращі альтернативи за поданими критеріями та відповідні їм обчислені значення ваг подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Найкращі альтернативи, відповідні їм значення ваг та параметри матриць попарних порівнянь

Критерій	Найкраща альтернатива	Вага	$\lambda_{\max}$	C_I	C_R
Обсяг (volume)	Кероване машинне навчання	0,3441	5,5394	0,0898	0,0725
Швидкість (velocity)	Некероване машинне навчання	0,3251	5,1297	0,0324	0,0262
Різноманітність (variety)	Кероване машинне навчання	0,4955	5,2747	0,0687	0,0554
Валідність (validity)	Некероване машинне навчання	0,3149	5,25	0,0625	0,0504
Значення (value)	Кероване машинне навчання	0,486	5,3923	0,0981	0,0791
Точність (veracity)	Кероване машинне навчання	0,414	5,3445	0,0861	0,0695
Видимість (visibility)	Кероване машинне навчання	0,4143	5,1535	0,0384	0,0309
Віртуальність (virtual)	Видобування даних	0,3632	5,3042	0,0761	0,0613
Мінливість (variability)	Некероване машинне навчання	0,3719	5,3897	0,0974	0,0786
Валентність (valence)	Візуалізація даних	0,4987	5,3578	0,0895	0,0721

Для усіх матриць попарних порівнянь, побудованих згідно перелічених критеріїв, обчислено оцінку найбільшого власного значення за формулою:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i S_i, \quad (4)$$

де w_i – вага альтернативи з i -м номером; S_i – сума елементів стовпця матриці попарних порівнянь з i -м номером; n – кількість альтернатив.

Для усіх матриць попарних порівнянь обчислено індекси узгодженості – $C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ та послідовності співвідношень – $C_R = \frac{C_I}{R_I}$.

На основі проведених обчислень за експертними оцінками, отриманими методом аналізу ієрархій, в якості найкращого варіанту для використання в процедурах аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних» обрано категорію засобів «Кероване машинне навчання». Середнє значення узгодженості ієрархії відповідно до зваженого індексу послідовності співвідношень:

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{0,0739}{1,25} = 0,0596 < 0,1. \quad (5)$$

Отриманий результат свідчить про узгодженість усієї ієрархії. Результати обчислень подано на рисунку 6.

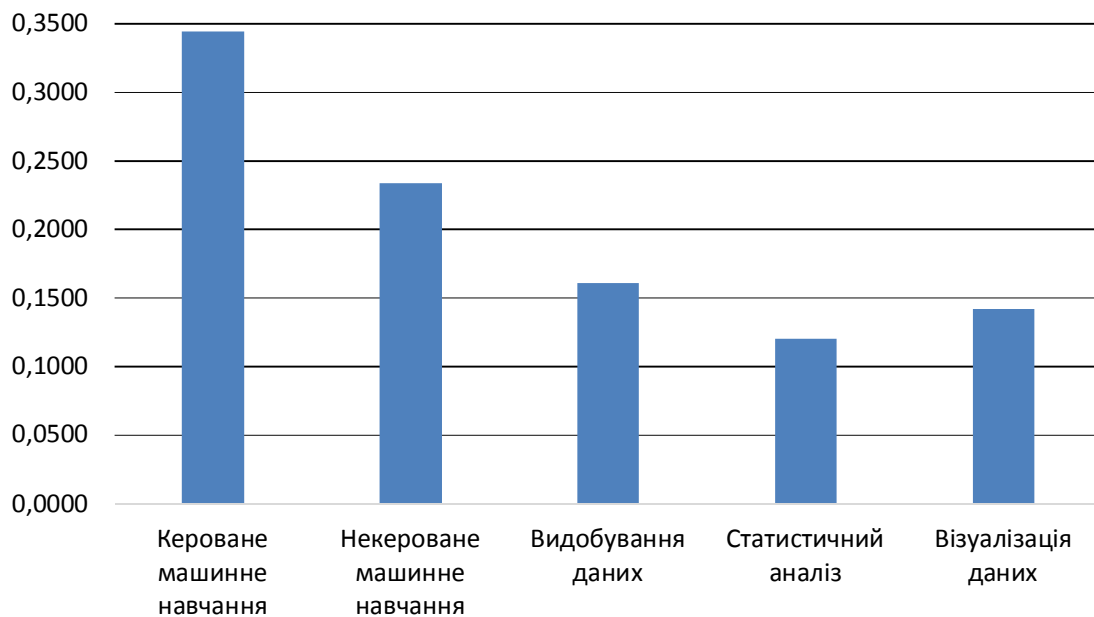


Рисунок 6 – Діаграма розподілу вагових коефіцієнтів альтернативних категорій методів аналітичного опрацювання «Великих даних»

Метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних.

Вибір цільової аналітичної ІТР для створення інформаційної системи «розумного міста» виконано за допомогою методу експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів. Для застосування методу побудовано ієрархію з трьохрівневою структурою (див. рисунок 7). На основі результатів проведеного в процесі дослідження функціональних можливостей обраних аналітичних ІТР сформовано множину критеріїв, відповідно до яких здійснюється вибір аналітичної ІТР, зокрема це обчислювальні ресурси, хмарна інфраструктура, онлайн-аналітика, офлайн-аналітика, вартість, прикладні програмні інтерфейси (API) та сервіс.

Для усіх матриць попарних порівнянь, побудованих згідно перелічених критеріїв, обчислено оцінку найбільших власних значень – $\lambda_{\max}$, індекси узгодженості – C_I та послідовності співвідношень – C_R .

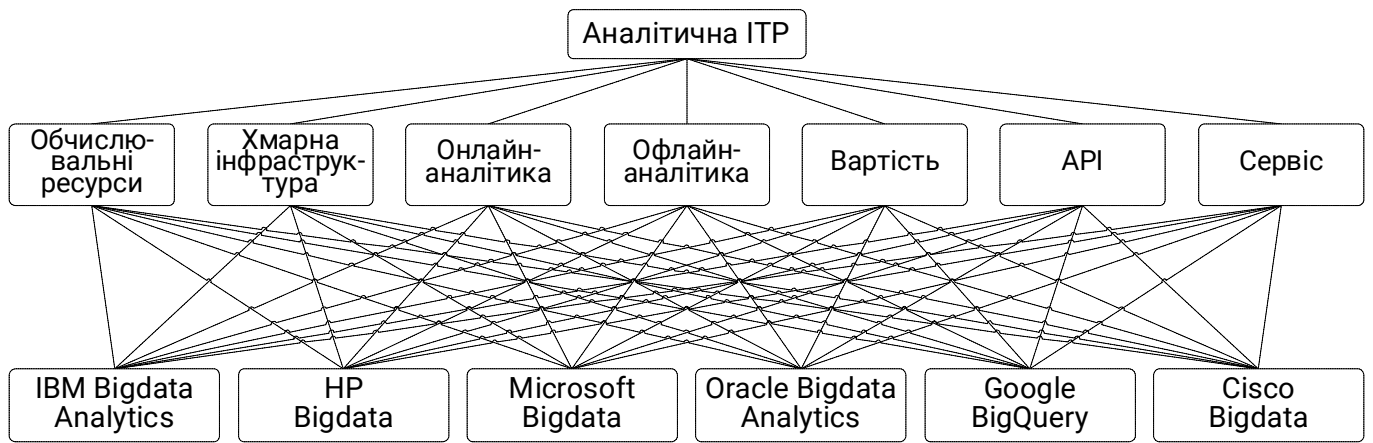


Рисунок 7 – Структура задачі прийняття рішень методом аналізу ієрархій щодо вибору аналітичної ІТР для інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст»

Найкращі альтернативи за поданими критеріями та відповідні їм обчислені значення подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Найкращі альтернативи за поданими критеріями

Критерій	Найкраща альтернатива	Вага	$\lambda_{\max}$	C_I	C_R
Обчислювальні ресурси	HP Bigdata	0,3083	6,393	0,0786	0,0634
Хмарна інфраструктура	IBM Bigdata Analytics	0,4399	6,253	0,0507	0,0409
Онлайн-аналітика	IBM Bigdata Analytics	0,4026	6,423	0,0846	0,0682
Офлайн-аналітика	IBM Bigdata Analytics	0,2656	6,128	0,0255	0,0206
Вартість	IBM Bigdata Analytics	0,4528	6,495	0,0991	0,0799
Прикладні програмні інтерфейси (API)	IBM Bigdata Analytics	0,4729	6,377	0,0754	0,0608
Сервіс	HP Bigdata	0,4326	6,432	0,0864	0,0697

Для всіх критеріїв виконується нерівність $C_R \leq 10\%$, що свідчить про узгодженість матриць попарних порівнянь. Для визначення ваг альтернатив проведено оцінювання ступеню важливості критеріїв. На основі проведених обчислень сформовано рекомендацію щодо обрання аналітичної ІТР «IBM Bigdata Analytics» оскільки вона має найбільше розрахункове значення ваги та, комплексно підходить для аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних».

Розроблена інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах сформована у вигляді технологічного ланцюжка та подана на рисунку 8. Вхідними сутностями для інформаційної технології є дані щодо процесів які протікають у міських ресурсних мережах та дані щодо міських соціокомунікаційних ресурсів. Для зберігання даних використано сховища даних, які формуються у вигляді гіперкубів, побудованих з використанням запропонованої в другому розділі дисертаційної роботи інформаційної технології багатовимірного аналізу даних. Для аналітичного опрацювання даних можуть використовуватись засоби, що реалізовані на основі аналітичної ІТР, для вибору яких використано методи, подані в третьому розділі дисертаційної роботи. Для оперативного реагування на зміну станів міських ресурсних мереж використано метод опрацювання подій.

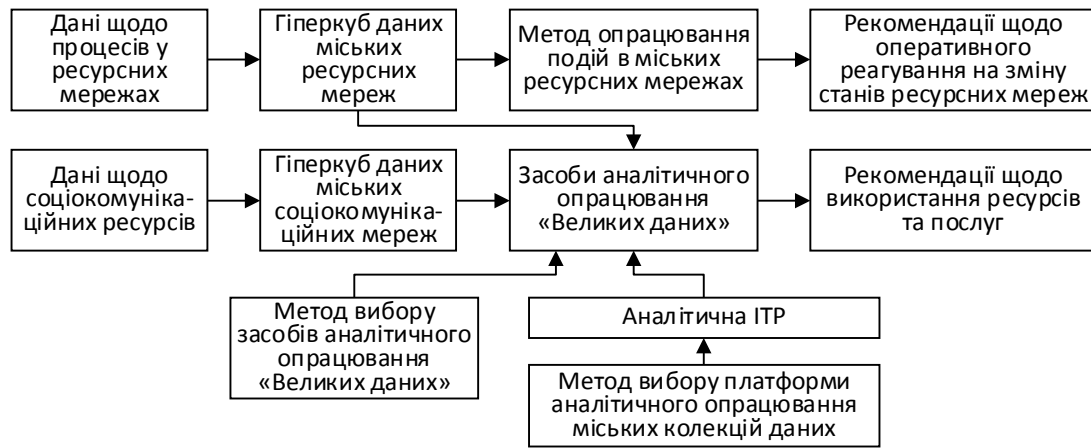


Рисунок 8 – Інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

Результатом функціонування інформаційної технології є рекомендації щодо оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж і використання відповідних ресурсів, інформаційних сервісів та послуг. З використанням запропонованих в дисертаційній роботі методів та інформаційних технологій розроблена архітектура ІТР інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в міських ресурсних мережах (див. рисунок 9). Архітектура ІТР міського консолідованого соціокомунікаційного інформаційного ресурсу організована аналогічно.

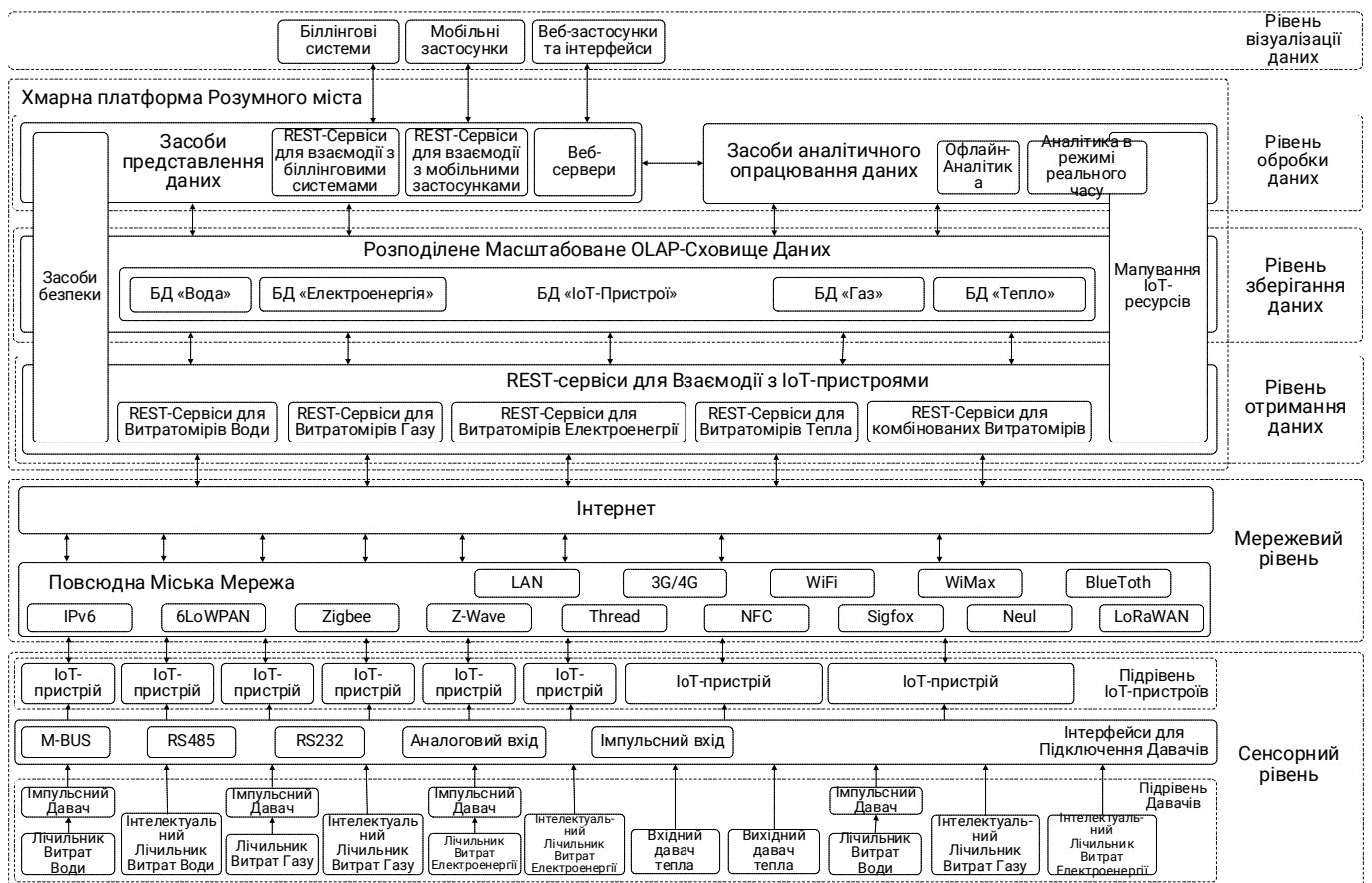


Рисунок 9 – Архітектура ІТР інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в міських ресурсних мережах

У четвертому розділі подано основні етапи розроблення прототипів програмно-алгоритмічних комплексів (ПАК), які реалізують ІТ супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст», є складовими компонентами при побудові відповідних інформаційних систем (ІС). Прототипи ПАК побудовані на основі запропонованої в третьому розділі дисертаційної роботи архітектури ІТР.

На рисунку 10 подані ключові актори ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста». Водночас перелік акторів ІС «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»» включає неавторизованого користувача, авторизованого користувача, редактора організації, керівника організації, модератора та адміністратора.

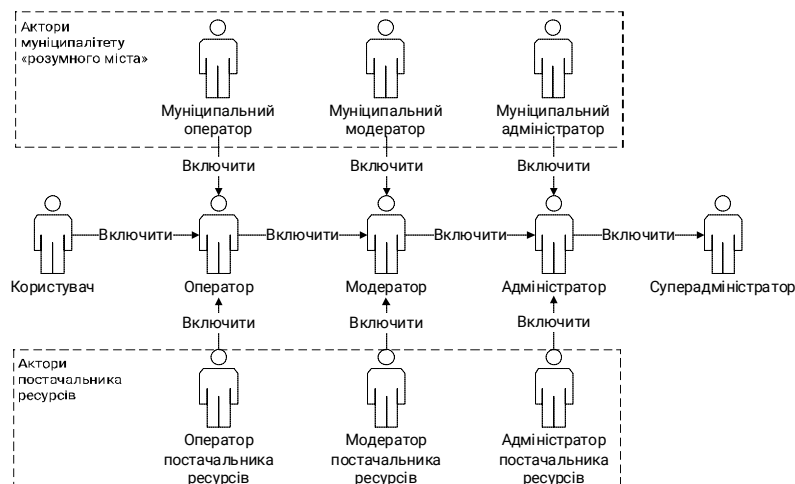


Рисунок 10 – Актори ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста»

На рисунку 11 подані ключові діаграми прецедентів для акторів з найбагатшими наборами прав та привілеїв у зазначених вище ІС «розумного міста». Для забезпечення ефективного інформаційного обслуговування, кожній з підпорядкованих категорій користувачів-акторів надаються відповідні функціонально-обмежені в ІС набори прав та привілеїв, для яких розроблено деталізовані діаграми прецедентів.



а) «Суперадміністратор» ІС ресурсних мереж б) «Адміністратор» ІС соціокомунікаційних мереж

Рисунок 11 – Ключові діаграми прецедентів

ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста» та ПАК прототипу ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс “розумного міста”» розроблено на основі трирівневої архітектури, поданої на рисунок 12.

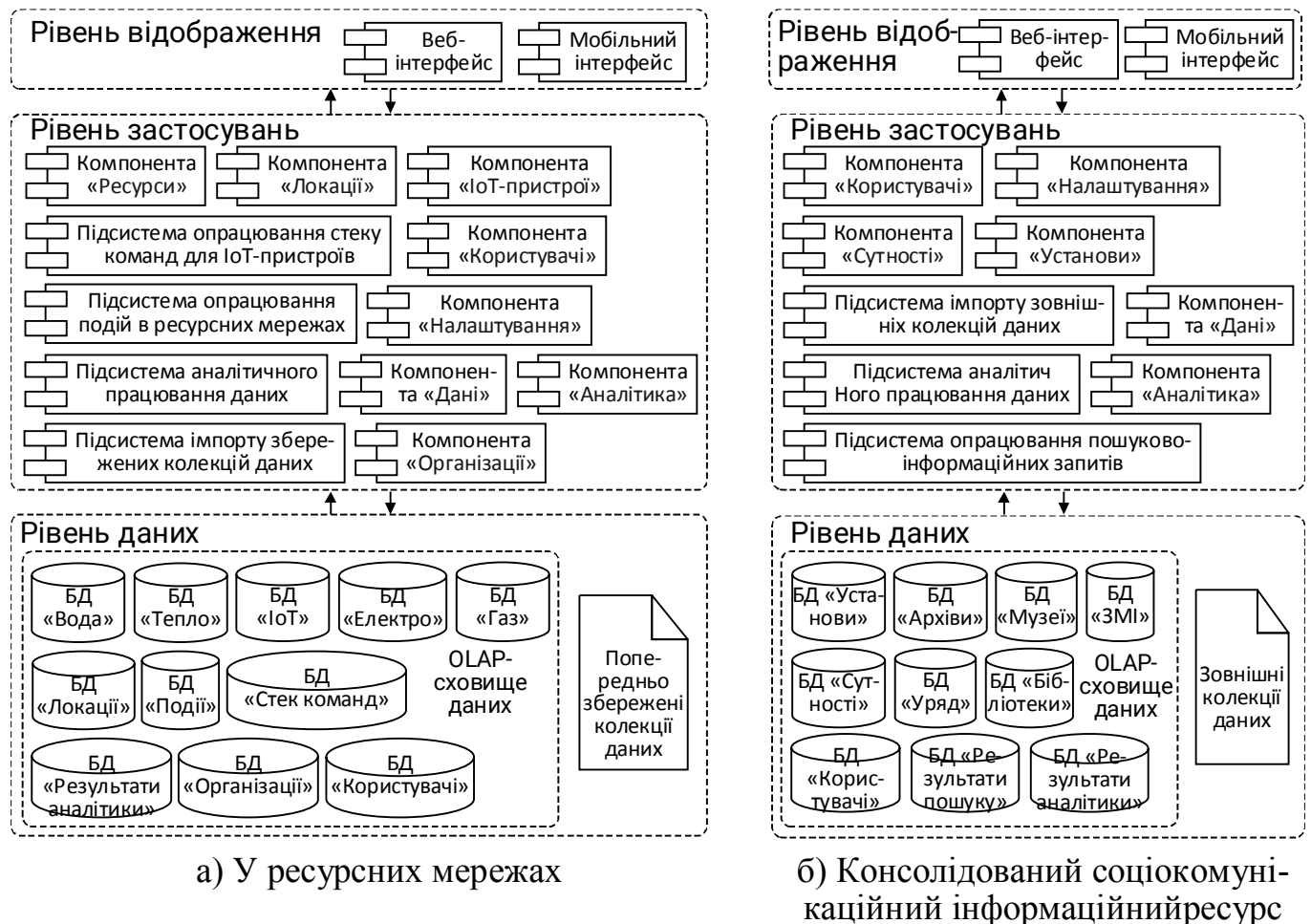
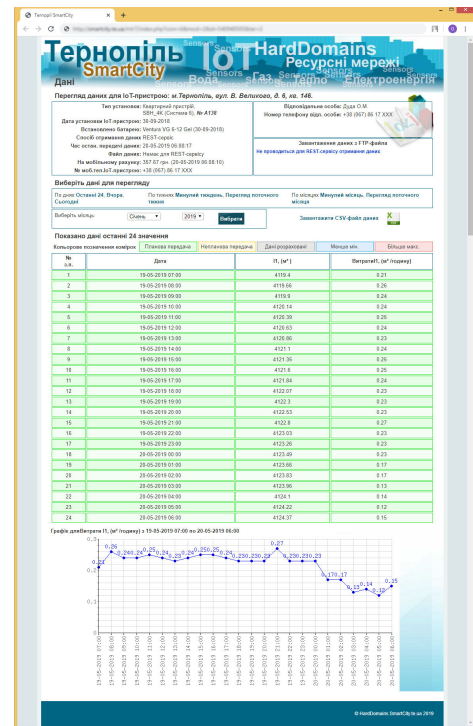


Рисунок 12 – Структура прототипів ПАК

Прототипи ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів в ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста» реалізовані у вигляді багатосторінкових мобільних та веб-застосунків, окремі сторінки, яких реалізовані з використанням AJAX-підходу. Серверні частини прототипів ПАК розроблено з використанням PHP СКБД MySQL. При створенні мобільних версій інтерфейсів прототипів використано Adobe AIR. Прототип ПАК для міських ресурсних мереж тестувався локально та з використанням виділених серверів хостингу. Зокрема на хостингу ТОВ РМЗ «Обрій» змодельовано роботу ПАК з обслуговуванням більш як 5000 IoT-пристроїв з підключеними витратомірами води та тепла, а на хостингу ТОВ «Укрзахідспецмонтаж» змодельовано роботу ПАК з обслуговуванням більш як 450 IoT-пристроїв з підключеними різнотиповими інтегрованими в міське середовище давачами (див. рисунок 13). На базі зазначених прототипів розгорнуто сервіси розсилання інформаційних повідомлень щодо критичної зміни станів ресурсних мереж і рекомендацій щодо режимів використання ресурсів, реалізовані на основі запропонованого в третьому розділі дисертаційної роботи методу опрацювання подій в міських ресурсних мережах, та проводиться апробація процедур інтеграції засобів аналітичного опрацювання.



а) Стартова сторінка



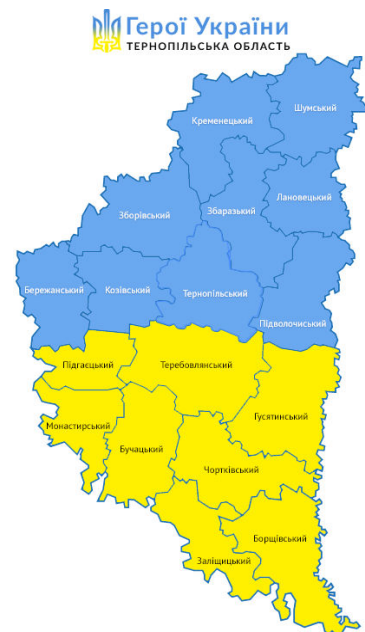
б) Відображення даних ІоТ-притрою

Рисунок 13 – Веб-інтерфейс прототипу ПАК ресурсних мереж «розумного міста»

На хостингу Державного архіву Тернопільської області змодельовано роботу ПАК консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста». Який використано для реалізації інформаційного онлайн-сервісу «Герої України. Тернопільська область» інтегрованого з веб-сайтом муніципальної установи (див. рисунок 14).



а) Стартова сторінка



б) Онлайн-сервіс «Герої України. Тернопільська область»

Рисунок 14 – Веб-інтерфейси прототипу ПАК консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста»

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання підвищення ступеня повноти подання інформації щодо процесів, які протікають в ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за ознакою «чисельність населення» міста.

Основні наукові й практичні результати роботи полягають в наступному:

1. В результаті аналізу особливостей, недоліків та переваг існуючих інформаційних технологій та систем, що використовуються для супроводу процесів, які протікають в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, запропоновано формувати відповідну інформаційно-технологічну матрицю, яка сформована та нормалізована відповідно до множини процесів взаємодії визначених інформаційно-технологічних складових елементів концепту «розумне місто». Це в свою чергу дозволило виокремити ключові інформаційні технології супроводу процесів, що протікають в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

2. Розроблено оригінальний метод опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста», який, на відміну від існуючих, враховує різнотипову природу міських мережевих ресурсів. Метод використано для формування ефективних рекомендацій щодо оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж та взаємодії з групами постачальників відповідних послуг.

3. Розроблено метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних». Проведено параметризацію множини атрибутів концепту «Великих даних», що дало можливість на основі методу експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів для аналізу ієрархій, розв'язати задачу вибору категорії методів аналітичного опрацювання «Великих даних» для потреб «розумного міста».

4. Розроблено метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних, що дозволило сформувати оригінальну архітектуру інформаційно-технологічних платформ для супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

5. Розроблено інформаційну технологію багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах на основі методології побудови гіперкубів даних. Це дозволило провести класифікацію та параметризацію множини категорій та атрибутів, що використовуються для опису процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста» та привело до формування багатовимірних моделей даних використаних при формуванні прототипів сховищ даних. Зазначені сховища, на відміну від існуючих, краще адаптовані до динамічних змін структури та станів ресурсних та соціокомунікаційних мереж великого міста.

6. Розроблено інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, подану у вигляді відповідних діаграм діяльності, яка на відміну від існуючих передбачає врахування чисельних наборів різноманітних параметрів міського середовища та реалізована у вигляді послідовних функціональних етапів.

7. Розроблено прототипи програмно-алгоритмічних комплексів, які реалізують інформаційні технології супроводу процесів, що протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за критерієм «чисельність населення» міста.

Сформовано дві цілісні системи інформаційно-технологічного супроводу процесів які протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Розроблені прототипи впроваджено в організаціях для надання персоналізованих рекомендацій користувачам щодо режимів використання ресурсів, що в свою чергу дозволило зменшити вартість спожитих муніципальних послуг та допомогло оптимізувати навантаження на міські ресурсні мережі. Зазначені системи впроваджено в міських муніципальних установах для підвищення ефективності перебігу процесів опрацювання інформаційних запитів мешканців та гостей великого за ознакою «чисельність населення» міста, що загалом дозволило зменшити вартість споживаних мешканцями та гостями міста муніципальних послуг.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. 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. (Book Chapter. Індексуються в Scopus).

2. О. М. Дуда, та М. О. Дуда, "Змінні та функції в середовищі реалізації двозначної алгебри логіки", *Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя*, том 4, № 1, с. 62-69, 1999.

3. М. М. Бубняк, О. М. Дуда, та М. О. Дуда, "Використання теорії про істотні та фіктивні змінні в булевих і лінійних функціях", *Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя*, том 4, № 2, с. 5-11, 1999.

4. Ю. Б. Гладь О. М. Дуда, та О. В. Мацюк, "Структура автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників витрат води", *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова*, вип. 71, Київ, с. 80-84, 2014. ISSN 2309-7655.

5. 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.

6. 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. (Індексуються в Scopus).

7. 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. (Індексуються в Index Copernicus).

8. 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. (Індексуються в Index Copernicus).

9. V. Pasichnyk et al., "Telecommunication Infrastructures for Telemedicine in Smart Cities", *IDDM 2018 Informatics & Data-Driven Medicine*, vol. 2255, pp. 256-266, 2018. ISSN 1613-0073. (Індексуються в Scopus).

10. 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. (Індексується в Scopus).

11. N. Shakhovska, O. Duda, O. Matsiuk, Y. Bolyubash, and R. Vovnyanka "Analysis of the Activity of Territorial Communities Using Information Technology of Big Data Based on the Entity-Characteristic Mode", in *Advances in Intelligent Systems and Computing III*, vol 871, pp. 155-170, 2019. ISSN 2194-5365. (Індексується в Scopus).

12. A. Kharchenko, et al., "Multicriteria Choice of Software Architecture Using Dynamic Correction of Quality Attributes", *Advances in Computer Science for Engineering and Education II*, vol. 938, 419-427, 2019. ISSN 2194-5365. (Індексується в Scopus).

13. О. М. Дуда, "Визначення множини замкнених класів, що достатня для повної характеристики елементарних функцій в двозначній алгебрі логіки", *Матеріали Дев'ятої наук. конф. Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2005, с. 123.

14. О. М. Дуда, "Визначення мінімальної множини замкнених класів, що достатня для повної характеристики елементарних функцій в двозначній алгебрі логіки", *Матеріали Десятої наук. конф. Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2006, с. 167.

15. Ю. Б. Гладь, та О. М. Дуда, "Автоматизована система контролю й обліку телеметричної інформації", на *XIV наук. конф. Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, том 1, Тернопіль, Україна, 2010, с. 14.

16. Ю. Б. Гладь, О. М. Дуда, та О. В. Мацюк, "Структура автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників", на *I наук.-техн. конф. Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2011, с. 27.

17. О. М. Дуда, Г. В. Шимчук, та В. Я. Яскілка, "Передача даних в автоматизованій системі контролю й обліку телеметричних показників", на *I наук.-техн. конф. Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2011, с. 84.

18. Н. Гащин, О. Дуда, та В. Шніцар, "Службові модулі для автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників", *Збірник тез доповідей XV наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2011, с. 340.

19. Ю. Б. Гладь, О. М. Дуда, та О. В. Мацюк, "Структура програмної компоненти для автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників", *Збірник тез доповідей XV наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2011, с. 64.

20. Ю. Б. Гладь, О. М. Дуда, та О. В. Мацюк, "Програмні компоненти системи для автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників", *Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2012, с. 74.

21. О. М. Дуда, "Використання нейромереж для прогнозування телеметричних показників", *Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2012, с. 51.

22. Ю. Б. Гладь, О. М. Дуда, та О. В. Мацюк, "Інтеграція нейромережі в систему контролю й обліку телеметричних показників", на *III наук.-техн. конф. «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2013, с. 20.

23. О. М. Дуда, "Формування вектора вхідних даних нейромережі", на *III наук.-техн. конф. «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, Тернопіль, 2013, с. 9.

24. О. М. Дуда, Г. І. Липак, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Інформаційно-технологічний супровід соціокомунікаційних проектів в системах «Розумне місто»", *V Міжнар. наук.-практичн. конф. Математика. Інформаційні технології. Освіта. Луцьк-Святаш. 5-7 черв. 2016р.*, с. 73-75, 2016.

25. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "«Розумне місто» – концепції, терміни та визначення", *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» (ІТЕП-2016)*, Чернівці, 2016, с. 170-171.

26. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Системні комплекси інформаційних технологій у проектах «Розумне місто»", *Матеріали 18-ї Міжнар. наук.-техн. конф. SAIT 2016. Системний аналіз та інформаційні технології*, Київ, 2016, с. 215-216.

27. О. М. Дуда, Г. І. Липак, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, Р. М. Небесний, та В. В. Пасічник, "Консолідація інформаційних ресурсів соціокомунікаційного середовища в проектах «Розумне місто»", *Матеріали 18-ї Міжнар. наук.-техн. конф. SAIT 2016. Системний аналіз та інформаційні технології*, Київ, 2016, с. 214.

28. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Розумне місто – портфель інформаційно-технологічних та соціокомунікаційних проектів", на *XII Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління проектами: стан та перспективи»*, Миколаїв, 2016, с. 53-55.

29. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Інформаційні технології в проектах класу «Розумне місто»", на *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та взаємодії»*, Київ, 2016, с. 168-169.

30. О. М. Дуда, Г. І. Липак, Н. Е. Кунанець, та В. В. Пасічник, "Формування прототипу соціокомунікаційного середовища міста", *«Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електротехніка» Міжнародна наукова конференція молодих науковців, аспірантів та студентів (ІТАЕ-2016)*, НУВГП, Рівне, 2016, с. 122-124.

31. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Архітектура інформаційно-технологічної платформи проектів класу «Розумне місто»", на *XIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління проектами: стан та перспективи»*, Миколаїв, 2017, с. 30-32.

32. О. М. Дуда, Г. І. Липак, Н. Е. Кунанець, та В. В. Пасічник, "Консолідований інформаційний ресурс міського соціокомунікаційного середовища", *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» (ІТЕП-2017)*, Чернівці, 2017, с. 161-163.

33. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Моделювання консолідованого інформаційного ресурсу установ соціальної пам'яті «розумного міста»", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та взаємодії»*, Київ, 2017, с. 89-90.

34. L. Wieclaw, V. Pasichnyk, N. Kunanets, O. Duda, O. Matsiuk, and P. Falat, "Cloud computing technologies in "smart city" projects", in *Proc. 9th IEEE Intern. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2017)*, Bucharest, 2017, pp. 339-342. (Індексується в Scopus).

35. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Інформаційні технології інтернет-пристроїв в проектах «Розумних міст»", *Міжнар. наук. конф. «Сучасні проблеми математичного моделювання, обчислювальних методів та інформаційних технологій»*, Рівне, 2018, с. 229-231.

36. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Інформаційні технології великих за обсягом даних (BIG DATA) в проектах «Розумних міст»", *Міжнар. наук. конф. «Сучасні проблеми математичного моделювання, обчислювальних методів та інформаційних технологій»*, Рівне, 2018, с. 227-229.

37. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Big Data: концепції, терміни та параметризація", *Зб. наук. пр. міжнар. наук. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI'2018*, Херсон, 2018, с. 157-159. ISBN 978-617-7573-17-2.

38. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Методи аналітичного опрацювання BIG DATA", *Зб. наук. пр. міжнар. наук. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI'2018*, Херсон, 2018, с. 159-160, ISBN 978-617-7573-17-2.

39. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Концепт «розумне місто» та інформаційні технології BigData", *на V Наук.-техн. конф. «Інформаційні моделі, системи та технології»*, Тернопіль, 2018, с. 30.

40. 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. (Індексується в Scopus).

41. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Етапи інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумних» міст", *на XV Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління проектами: стан та перспективи»*, Миколаїв, 2019, с. 18-20.

42. О. М. Дуда, Н. Е. Кунанець, О. В. Мацюк, та В. В. Пасічник, "Інтегрований аналіз даних в ресурсних мережах «розумних» міст", *на XV Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління проектами: стан та перспективи»*, Миколаїв, 2019, с. 20-21.

43. O. Duda, S. Martsenko, O. Matsiuk, N. Kunanets, and V. Pasichnyk, "Software modelling complex of network operating parameters with variable input data", in *Proc. 14th Intern. Conference on Computer sciences and Information technologies" (CSIT 2019)*, Lviv, 2019, pp. 165-168. ISBN 978-1-5386-6463-6. (Індексується в Scopus).

44. O. Duda, S. Martsenko, O. Matsiuk, N. Kunanets, and V. Pasichnyk, "The information system for planning the parameters of telecommunication operator networks", in *Proc. 14th Intern. Conference on Computer sciences and Information technologies" (CSIT 2019)*, Lviv, 2019, pp. 177-182. ISBN 978-1-5386-6463-6. (Індексується в Scopus).

45. 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. (Індексується в Scopus).

46. 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. (Індексується в Scopus).

47. О. М. Дуда, Г. І. Липак, та Н. Е. Кунанець, "Соціокомунікаційний проект зі створення консолідованого інформаційного ресурсу невеликого за масштабами міста", *Science and Education a New Dimension. Humanities and Social Sciences*, vol (19), issue 119, pp. 51-55, 2017. ISSN 2308-1996. (Індексується в Scopus).

АНОТАЦІЯ

Дуда О. М. Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

У дисертації розв'язано важливе наукове завдання підвищення ступеня повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за ознакою «чисельність населення» міста шляхом розроблення моделей, методів та інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень під час надання інформаційно-технологічних послуг і сервісів.

Розроблено оригінальний метод опрацювання подій у міських ресурсних мережах, котрий на відміну від існуючих враховує різнотипову природу міських мережеских ресурсів. Сформовано метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» на основі скомпонованого набору атрибутів. Розроблено метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних. Запропоновано інформаційну технологію багатовимірної аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. З використанням перелічених методів та на основі інформаційної технології багатовимірної аналізу даних сформовано інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. Побудовано прототипи програмно-алгоритмічних комплексів, які реалізують інформаційні технології супроводу процесів, що протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за критерієм «чисельність населення» міста, спроектовано дві цілісні інформаційні системи.

Ключові слова: інформаційна технологія, інформаційна система, міські ресурсні мережі, інформаційно-технологічна платформа, інформаційний сервіс, інформаційний соціокомунікаційний ресурс, сховище даних, гуперкуб даних.

АННОТАЦИЯ

Дуда А. М. Информационные технологии сопровождения процессов в городских ресурсных и социокоммуникационных сетях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2019.

В диссертации решена важная научная задача повышения степени полноты представления информации о процессах, протекающих в ресурсных и

социокоммуникационных сетях большого по признаку «численность населения» города путем разработки моделей, методов и информационных технологий для поддержки принятия решений при предоставлении информационно-технологических услуг и сервисов.

Разработан оригинальный метод обработки событий в городских ресурсных сетях, который в отличие от существующих учитывает разнотипную природу городских сетевых ресурсов. Сформирован метод выбора группы средств аналитической обработки «Больших данных» на основе скомпонованного набора атрибутов. Разработан метод выбора информационно-технологической платформы аналитической обработки городских коллекций данных. Предложена информационная технология многомерного анализа данных в городских ресурсных и социокоммуникационных сетях. С использованием перечисленных методов и на основе информационной технологии многомерного анализа данных сформировано информационную технологию сопровождения процессов в городских ресурсных и социокоммуникационных сетях. Построено прототипы программно-алгоритмических комплексов, реализующих информационные технологии сопровождения процессов, протекающих в ресурсных и социокоммуникационных сетях большого по критерию «численность населения» города, спроектированы две цельные информационные системы.

Ключевые слова: информационная технология, информационная система, городские ресурсные сети, информационно-технологическая платформа, информационный сервис, информационный социокоммуникационный ресурс, хранилище данных, гиперкуб данных.

ABSTRACT

Duda O. M. Information technologies of process support in urban resource and socio-communication networks. – Manuscript copyright.

Thesis for Candidate Degree of Technical Science on specialty 05.13.06 "Information Technology". – Ternopol Ivan Puluj National technical University, Ternopil, 2019.

The thesis work is devoted to solving the following actual scientific problem: increasing the degree of completeness of presenting information on processes arising in the resource and social communication networks of a city with a large population size based on the development of models of methods and information technologies to support decision making when providing information and technological services and facilities. The object of study: processes of supplying resources and forming facilities for providing information services. The subject of study: models, methods and means of forming procedures for the information and technological support of processes of supplying resources and providing information services and facilities to residents and guests of a large city.

On the basis of the analysis of the current state of scientific research and development of information technologies used to support processes in resource and social communication networks of a city with a large population size, an information and technological matrix was formed with the help of which the corresponding relation to the

“Basic information technology classes” set of attributes and the information and technological components of the “smart city” concept was analyzed.

The analysis and construction of prototypes of data hypercubes concerning urban resource and social communication networks were carried out, on the basis of which the data warehouse structure was modeled. Classification and parameterization of multiple categories and attributes was carried out to describe processes in urban resource and social communication networks, which allowed, for the first time, to use IT OLAP on the basis of data hypercubes to develop information technology of complex multidimensional data analysis characterizing the course of the process of urban resource and social communication networks. Models of urban resource and social communication networks were developed, which, unlike the known ones, consider the complexity of network attributes.

The method of event processing in city resource networks was developed, which, unlike the existing ones, consider the diverse nature of urban network resources. This, in turn, made it possible to form effective recommendations for promptly responding to changes in the state of resource networks and the interaction of consumers and municipal administrations with groups of providers of relevant services. A method for selecting a group of “big data” analytical processing tools was developed using the original set of attributes. The method is based on the known hierarchy analysis method. The method of selection of information technology platform for analytical processing of urban data collections is developed based on the method of expert assessments, which is based on the procedure of pairwise comparisons of options. With the help of the above methods and based on the multidimensional data analysis proposed in Section 2 of information technology, information technology was developed to support processes in urban resource and social communication networks, which is presented in the form of a technological chain and corresponding activity diagrams. A common architecture of information technology platforms designed for the implementation of various types of information systems of a city, which integrally and systematically integrates all stages of information and technological support of processes that take place in urban resource and social communication networks, was designed.

Based on the analysis of functional requirements, context diagrams and use case diagrams for information systems were developed, in which basic procedures of information and technological support of processes arising in urban resource and social communication networks were implemented. The prototypes of the database of information and technological support of processes in resource and social communication networks of a “smart city” were designed. Prototypes of program-algorithm complexes that implement information technologies to support processes arising in resource and social communication networks of a city with a large population size were developed, and two complete information systems were formed. The above systems were implemented in municipal institutions to provide personalized recommendations to users with regards to resource usage modes, which in turn allows reducing the cost of municipal services consumed and optimize the load on urban resource networks.

Key words: information technology, information system, urban resource networks, information technology platform, information service, information and communication resource, data warehouse, data supercube.

Підписано до друку 05.02.2020 р.
Формат 60×90 Папір ксероксний.
Обл. вид. арк. 0,9
Наклад 100 прим. Зам. № 3293.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.