

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Дуда Олексій Михайлович

УДК 004.032.2:004.031:004.415.2

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.13.06 – Інформаційні технології

05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник
Пасічник Володимир Володимирович,
доктор технічних наук, професор

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

В.о. вченого секретаря спеціалізованої вченої ради

/Н.В. Загородна/

Тернопіль – 2019

АНОТАЦІЯ

Дуда О. М. Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. – Кваліфікаційна наукова праця 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.

Підготовка здійснювалась на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Спеціалізована вчена рада К58.052.06 при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального наукового 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. 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.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено та проаналізовано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету та завдання дослідження, розглянуто предмет та об'єкт дослідження, подано перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий

внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У першому розділі на основі проведеного аналізу актуального стану наукових досліджень та розроблення інформаційних технологій, що використовуються для супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за характеристикою «чисельність населення» міста, сформовано інформаційно-технологічну матрицю, з допомогою якої подано відповідне відношення на множині атрибутів «Базові класи інформаційних технологій» та проаналізовано інформаційно-технологічні складові концепту «розумне місто». Проведений аналіз показав, що нинішнє забезпечення інформаційно-технологічними засобами супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах міст зазвичай фрагментарне та клаптикове з яскраво вираженими нерівномірностями, що є характерним як для України, так і багатьох розвинутих країн світу. Практично відсутня загальноприйнята системна інформаційна технологія супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. Така інформаційна технологія повинна була б поєднувати основні етапи інформаційно-технологічного супроводу процесів як у міських ресурсних мережах, так і тих, що протікають в інтегрованому соціокомунікаційному середовищі з урахуванням потреб мешканців та гостей, проблем економічного та соціального розвитку, а також вимог ринків ресурсів, міської громади та регіону загалом.

У другому розділі сформовано та проаналізовано базові характеристики сховища даних, в якому подаються відомості щодо міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж. Виконано аналіз та побудову прототипів гіперкубів даних щодо міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж на основі якого проведено моделювання структури сховища даних. Проведено класифікацію та параметризацію множини категорій та атрибутів для опису процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, що дозволило вперше з використанням ІТ (Інформаційна технологія) OLAP на основі гіперкубів даних розробити інформаційну технологію комплексного багатовимірного аналізу даних, що характеризують перебіг процесів у

ресурсних та соціокомунікаційних мережах міста. Розроблено моделі міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж, які, на відміну від відомих, враховують багатокomпонентність атрибутів мереж.

На основі проведеного системного аналізу ключових етапів нормалізації існуючих колекцій міських даних розроблено узагальнений алгоритм нормалізації реляційних баз даних при їх інтеграції в міських проектах. Розроблено діаграму діяльності процесів опрацювання реляційних баз даних під час їх імпорту в міські сховища даних.

У третьому розділі розроблено метод опрацювання подій в ресурсних мережах міста, який, на відміну від існуючих, враховує різнотипову природу міських мережевих ресурсів. Це в свою чергу дало можливість формувати ефективні рекомендації щодо оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж і взаємодії споживачів та муніципальних адміністрацій з групами постачальників відповідних послуг. Розроблено метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних», сформований з використанням оригінальної множини атрибутів. Метод в основі базується на відомому методі аналізу ієрархій. Розроблено метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних, побудований на основі методу експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів. З використанням перелічених методів та на основі запропонованої в другому розділі інформаційної технології багатовимірного аналізу даних розроблено інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, яка подана у вигляді технологічного ланцюжка та відповідних діаграм діяльності. 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 інформаційно-технологічної платформи, для

вибору яких використано методи, подані в третьому розділі дисертаційної роботи. Для оперативного реагування на зміну станів міських ресурсних мереж використано метод опрацювання подій. Результатом застосування 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 спроектовано узагальнену архітектуру інформаційно-технологічних платформ, призначених для реалізації різнотипових інформаційних систем міста, котрі цілісно та системно поєднують усі етапи інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

У четвертому розділі, на основі аналізу функціональних вимог розроблені контекстні діаграми та діаграми прецедентів для інформаційних систем, в яких реалізовані базові процедури інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. Розроблено структурно-функціональні схеми прототипів програмно-алгоритмічних комплексів інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах міста та інформаційній системі формування та опрацювання міського консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу. Спроектовано прототипи БД інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Проаналізовано особливості програмної реалізації та сформовано процедури функціонування прототипів відповідних програмно-алгоритмічних комплексів.

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 інформаційні системи. Прототип ПАК (Програмно-алгоритмічний комплекс) 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. 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. 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. Зазначені системи впроваджено в муніципальних установах для надання персоналізованих рекомендацій користувачам щодо режимів використання ресурсів, що в свою чергу дозволяє зменшувати вартість спожитих муніципальних послуг та оптимізувати навантаження на міські ресурсні мережі.

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].

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

SUMMARY

Duda O. M. Information technologies of process support in urban resource and socio-communication networks. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in specialty 05.13.06 “Information Technologies”. – Ivan Pulyuy National Technical University of Ternopil, Ternopil, 2019.

The training was carried out at the Computer Science Department of Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Specialized Scientific Council K58.052.06 at Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

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.

The introduction substantiates the relevance of the thesis work; presents and analyzes the relationship of the work with scientific programs plans and topics; defines the purpose and objectives of the study; reviews the subject and object of the study; and provides a list of research methods used to achieve the purpose of the thesis work. The scientific novelty, the practical importance of the obtained results, and personal creative contribution of the candidate for a degree were formulated. Information on the approbation and publication of the results of the thesis work is provided.

In Section 1, 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 showed that the current provision of information and technological means to support the processes in the resource and social communication networks of cities is usually fragmented and made of scraps with pronounced irregularities, which is distinctive for both Ukraine and many developed countries of the world. There is practically no conventional system information technology to support the processes arising in urban resource and social communication networks. Such information technology would combine the main stages of information and technological support of processes both in urban resource networks and in those ones that take place in an integrated social communication environment, with due consideration of the needs of residents and guests, economic and social development problems, as well as the requirements of resource markets, the city community, and the region in general.

In Section 2, the basic characteristics of the data warehouse, to which information on urban resource and social communication networks is provided, are formulated and 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.

On the basis of the systematic analysis of key stages of normalizing the existing collections of urban data performed, a generalized algorithm for normalizing relational databases during their integration in urban projects was developed. The diagram of the activity of relational databases processing during their import into urban data warehouses was developed.

In Section 3, 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. Data on processes arising in urban resource networks and data on urban social communication resources are input substances for information technology. Data warehouses were used for data storage, which is formulated in the form of hypercubes constructed with the help of information technology of the multidimensional data analysis proposed in Section 2 of the thesis work. For analytical processing of the data, the means implemented on the basis of the analytical information and technology platform can be used, for the selection of which the methods presented in Section 3 of the thesis work were used. The event handling method was used to promptly respond to changes in the state of urban resource networks. Recommendations for a prompt response to changes in the state of resource networks and the use of appropriate resources, information services and facilities are a result of the information technology implication. With the help of the methods and information technologies proposed in the thesis work, a generalized

architecture of information technology platforms intended for the implementation of various types of information systems of the city, which integrally and systematically combines all stages of information and technological support of processes arising in urban resource and social communication networks, was designed.

In Section 4, 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. Structural and functional diagrams of prototypes of program-algorithm complexes of information and technological support of processes taking place in resource networks of the city and information system of the formation and processing of urban consolidated information and social communication resource were developed. The prototypes of the database of information and technological support of processes in resource and social communication networks of a “smart city” were designed. Special aspects of software implementation were analyzed, and procedures for the functioning of prototypes of corresponding program-algorithm complexes were formed.

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 program-algorithmic complex prototype for urban resource networks was tested locally and using dedicated hosting servers. In particular, the PAC operation with the service of more than 5000 IoT-devices with connected water and heat flowmeters were simulated on the hosting of Obriy Machinery and Repair Plant LLC; the PAC operation with the service of more than 450 IoT-devices with connected different types sensors integrated into the urban environment were simulated on the hosting of Ukrzakhidspetsmontazh LLC. On the basis on these prototypes, the services of sending information messages on breaking change of the state of resource networks were deployed; recommendations on the resources using modes were implemented on the basis of the method of processing events in urban resource networks proposed in Section 3 of the thesis work, and the integration procedures of analytical processing are carried out. The PAC operation of

the consolidated information and social communication resource of the smart city was simulated on the hosting of the State Archives of the Ternopil Region. It was used for the implementation of the information online service "Heroes of Ukraine. The Ternopil Region" integrated with the website of the municipal institution. 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.

The main results of the thesis work were published in 47 scientific papers including 9 articles in Ukrainian scientific professional editions, of which 5 articles were published in editions included in Scopus, an international scientometric database [6], [9]–[12]; 3 articles were published in scientific periodical editions of other countries, of which 2 articles are included in Index Copernicus, an international scientometric databases [7], [8]; a section of a peer-reviewed multi-authored monograph was submitted to Scopus [1]; 34 articles were published in the works of international and all-Ukrainian scientific and scientific and technical conferences, 6 of which, in particular 3 foreign articles [34], [45], [46], were included in Scopus [34], [40], [43]–[46].

Список публікацій здобувача

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати 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. (Індексується 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. (Індексується 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).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

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. Гашин, 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-Святиязь. 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).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

47. O. M. 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.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	23
ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ І ПЛАТФОРМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СУЧАСНИХ МІСТАХ.	
ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ОЗНАЧЕННЯ ТА КОНЦЕПТИ.....	32
1.1 Сучасні міста та формування концепту «розумного міста»	32
1.2 Засоби та інструменти оцінювання «розумності» міст	36
1.3 Інформаційні технології та системи «розумного міста».....	37
1.4 Ресурсні мережі «розумних міст»	39
1.5 Соціокомунікаційні мережі «розумних міст».....	40
1.6 Аналіз інформаційних технологій супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах	41
1.6.1 Інформаційна технологія «Інтернет речей» в системах «розумного міста»	43
1.6.2 Інформаційна технологія «Туманних обчислень» в системах «розумного міста»	44
1.6.3 Інформаційна технологія «Хмарних обчислень» в системах «розумних міст»	46
1.6.4 Інформаційна технологія «Великі дані» в системах «розумних міст».	48
1.6.5 Інформаційна технологія «Аналітика великих даних» в системах «розумних міст»	50
1.7 Аналіз існуючих систем інформаційно-технологічної підтримки процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста»	52
1.8 Інформаційно-технологічна платформа системної реалізації концепту «розумного міста».....	55
1.9 Задача та формування завдань дослідження.....	58
Висновки до розділу 1	59

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБЕРІГАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ У МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ .	60
2.1 Характеристика сховища даних ресурсних та соціокомунікаційних мереж	60
2.2 Інформаційна технологія багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах	64
2.3 Аналіз гіперкубів даних міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж	79
2.4 Прототипи сховища даних на основі гіперкубів для ресурсних та соціокомунікаційних мереж	81
2.5 Нормалізація БД ресурсних та соціокомунікаційних мереж при їх імпорті до сховищ даних	83
2.6 Етапи опрацювання баз даних в процесі їх імпорту в сховища даних «розумного міста»	86
Висновки до розділу 2	88
РОЗДІЛ 3. КОМПОНЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	90
3.1 Метод опрацювання подій в міських ресурсних мережах	90
3.2 Метод вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних»	99
3.3 Метод вибору платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних	108
3.4 Інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.....	115
3.5 Архітектура інформаційно-технологічних платформ «розумного міста»	119
Висновки до розділу 3	124
РОЗДІЛ 4. МАКЕТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	125

4.1 Функціональне призначення інформаційних систем для міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж.....	125
4.2 Контекстні діаграми інформаційних систем.....	128
4.3 Діаграми прецедентів інформаційних систем	129
4.4 Розроблення прототипів баз даних для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.....	131
4.5 Структурно-функціональні схеми прототипів програмно-алгоритмічних комплексів.....	134
4.6 Особливості реалізації прототипів програмно-алгоритмічних комплексів для «розумних міст».....	137
4.6.1 Інтерфейси прототипів програмно-алгоритмічних комплексів.....	142
4.7 Впровадження результатів дослідження.....	153
Висновки до розділу 4.....	154
ВИСНОВКИ	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	157
ДОДАТКИ	180
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи.....	180
Додаток Б. Нормалізована інформаційно-технологічна матриця «розумного міста»	187
Додаток В. Компоненти гіперкубів даних.....	190
Додаток Д. Матриці попарних порівнянь та ваг альтернатив для задачі вибору категорії аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних».....	192
Додаток Е. Матриці попарних порівнянь та ваг альтернатив для задачі вибору ІТР аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних».....	200
Додаток Ж. Декомпозиція ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста».....	207
Додаток З. Актори та діаграми прецедентів ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста».....	208

Додаток И. Актори та діаграми прецедентів ІС інформаційно-технологічного супроводу «Консолідованого соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста»»	210
Додаток К. Структура БД для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних мережах.....	214
Додаток Л. Структура БД для інформаційно-технологічного супроводу міського соціокомунікаційного ресурсу	217
Додаток М. Програмний код індексного файлу прототипу ПАК «розумного міста»	224
Додаток Н. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	228

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Обчислювальна еластичність (англ. Elastic Computing) – Ступінь, в якій система здатна адаптуватися до зміни робочого навантаження шляхом виділення або вивільнення обчислювальних ресурсів.

БД – Бази даних.

ЗМІ – Засоби масової інформації.

ГІС – Геоінформаційна система.

ІМ – Інформаційна модель.

ІС – Інформаційна система.

ІТ – Інформаційна технологія.

ОС – Операційна система.

ПАК – Програмно-алгоритмічний комплекс.

ПК – Персональний комп'ютер.

СД – Сховище даних.

API (англ. Application Programming Interface) – Прикладний програмний інтерфейс.

BD (англ. Big Data) – «Великі дані» – Термін використовується для позначення великих за обсягом, слабо структурованих та швидкозмінних даних.

BDA (англ. Big Data Analytics) – Аналітичне опрацювання «Великих даних».

DaaS (англ. Data as a Service) – Дані як послуга.

GRID (від англ. Grid – решітка) – Грід – географічно розподілена обчислювальна інфраструктура.

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

ITP (англ. IT Platform) – Інформаційно-технологічна платформа.

PaaS (англ. Platform as a Service) – Платформа, як послуга.

REST (англ. Representational State Transfer) – Подання архітектури мережевих протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів.

SaaS (англ. Software as a Service) – Програма, як послуга.

ВСТУП

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 – бібліотеки, архіви, музеї, засоби масової інформації і 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 вагомі результати за профілем наукових розвідок, які кореспондуються з тематикою цього 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-Муньюсу, 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 надавачів послуг. В багатьох випадках результати

досліджень не знаходять практичного втілення. 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 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 відповідальним виконавцем 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.

Для досягнення поставленої мети і вирішення сформульованої наукової задачі дослідження слід було виконати 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 одержаних результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

– 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 метод 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 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 дисертації впроваджені та використовуються у роботі товариства з обмеженою відповідальністю Ремонтно-механічний завод «Обрій», товариства з обмеженою відповідальністю «Укрзахідспецмонтаж», Державного архіву Тернопільської області, впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка». Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами, поданими в додатку Н.

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 архітектури 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 (англ. Internet of Things); [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 контекстної 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 (ІТАЕ-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 й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 238 найменувань та 12 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 233 сторінок, з них 127 сторінок основного тексту, який містить 63 рисунки, з яких 6 рисунків розміщено на окремих аркушах, та 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ І ПЛАТФОРМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СУЧАСНИХ МІСТАХ.

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ОЗНАЧЕННЯ ТА КОНЦЕПТИ

1.1 Сучасні міста та формування концепту «розумного міста»

За авторитетними фаховими прогнозами [48], до 2030 року більше 60% населення нашої планети буде жити в міському середовищі, а до 2050 року ця цифра зросте до 70% [49]. Збільшення рівня урбанізації підвищує попит на якісні послуги та спричиняє зростання вимог щодо підвищення ефективності міського управління.

Загалом концепт «місто» не відноситься до наукових термінів. У різний час та у різних географічних локаціях «містами» називали сутності з різними ознаками та змістом. В теперішній час міста класифікуються за складовими елементами та інфраструктурними мережами, адаптованістю до інтенсивного розвитку і можливих змін потреб мешканців з перспективою нарощення потенціалу. На рисунку 1.1 подані ключові атрибути концепту «місто», такі як час виникнення, історичний потенціал, статус, ступінь складності економічної бази, профіль містобудівельної бази, адміністративне значення, компактність забудови, зв'язки з іншими поселеннями, характер зайнятості, чисельність населення та профіль основної зайнятості населення [50].

Дослідження інформаційних технологій супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах були проведені в контексті великого міста з населенням від 100 000 до 250 000 жителів, одним з прикладів якого є м. Тернопіль з населенням 218 228 жителів за даними статистичного збірника «Чисельність наявного населення України» Державного комітету статистики України станом на 1 січня 2016 року [51]. Ще двадцять українських міст відносяться до цієї категорії, тому проведені дослідження є актуальними та можуть бути використані у таких містах під час реалізації процесів формування на їх основі концептуальних засад «розумних міст».

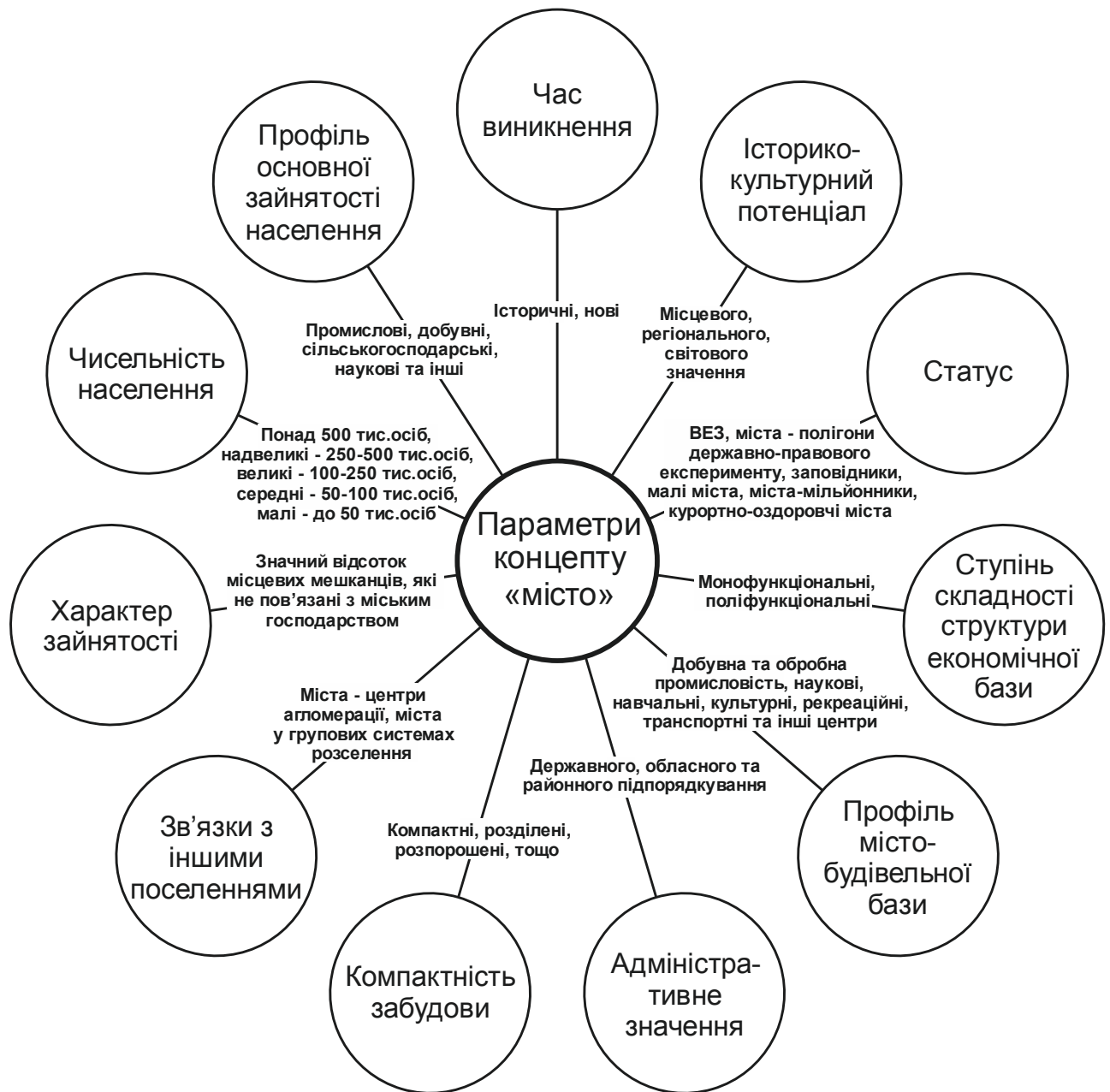


Рисунок 1.1 – Параметри концепту «місто» [50]

Складові сутності концепту «місто» подані на рисунку 1.2. Ключовою їх особливістю є можливість ефективного використання даних, пов'язаних з міською діяльністю, їх комплексний аналіз з метою генерації нових інформаційних кортежів, призначених для формування та оптимізації баз даних, що описують процеси функціонування міста, управління містом, як гіперскладною системою та ефективного міського урядування.

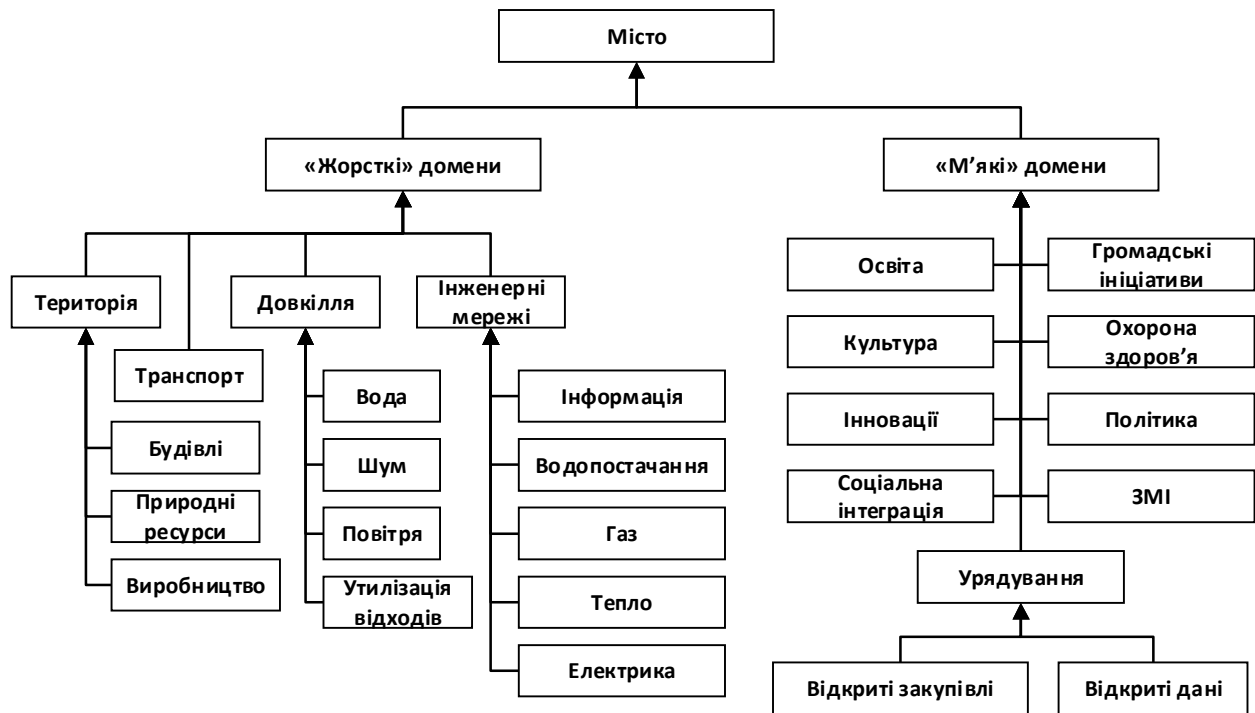


Рисунок 1.2 – Структура складових сутностей концепту «місто»

«Розумне місто» є сучасною інформаційно-технологічною та соціокомунікаційною концепцією, яка визначена як місто, яке прагне ефективніше використовувати доступні ресурси для підвищення якості життя та продуктивності муніципальних послуг надаваних жителям та гостям міста, при одночасному зниженні експлуатаційних витрат [52].

Концепція «розумного міста» зазвичай реалізується в складному міському середовищі, яке включає множини складних інфраструктурних систем, поведінку мешканців та гостей міста, технології, соціальні та політичні структури, економіку, тощо (див. рисунок 1.3).

В ряді публікацій [25], [28], [53]–[58] проведено аналіз процесів формування сучасного інноваційного концепту – «розумне місто». Під час реалізації багатьох проектів «розумних міст» формуються інноваційні науково-обґрунтовані методики керування міськими компонентами та підсистемами, зокрема такими як ресурсні мережі, енергетика, інформаційні ресурси та муніципальні послуги.

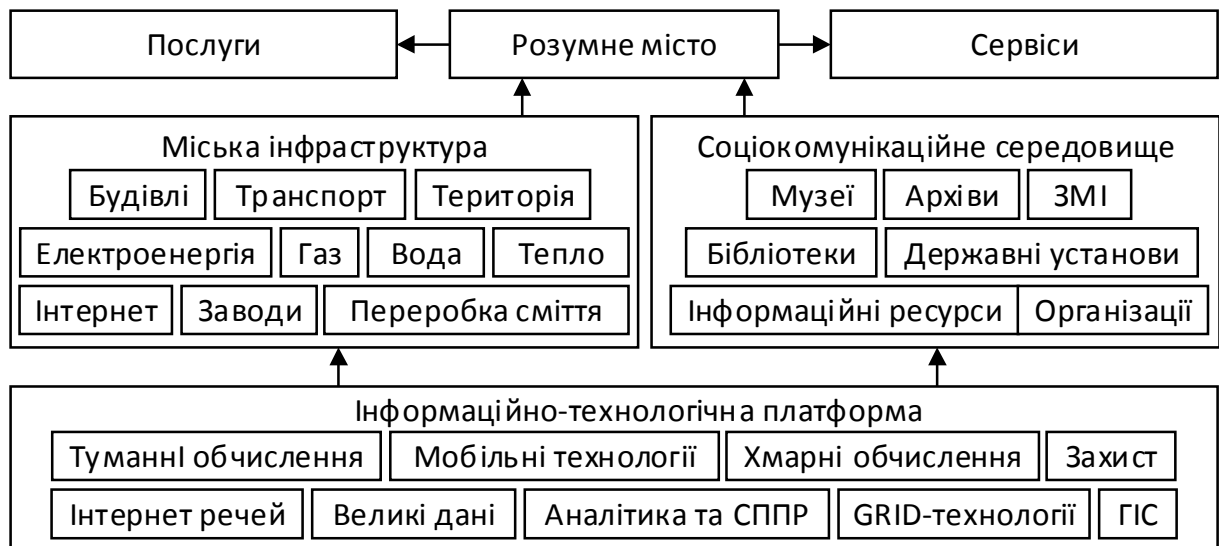


Рисунок 1.3 – ІТР (англ. IT Platform), міська інфраструктура та соціокомунікаційне середовище «розумного міста»

На рисунку 1.4 подано складові компоненти концепту «розумне місто», в якому виділено два базових, а саме «жорсткі» та «м'які» домени [59].

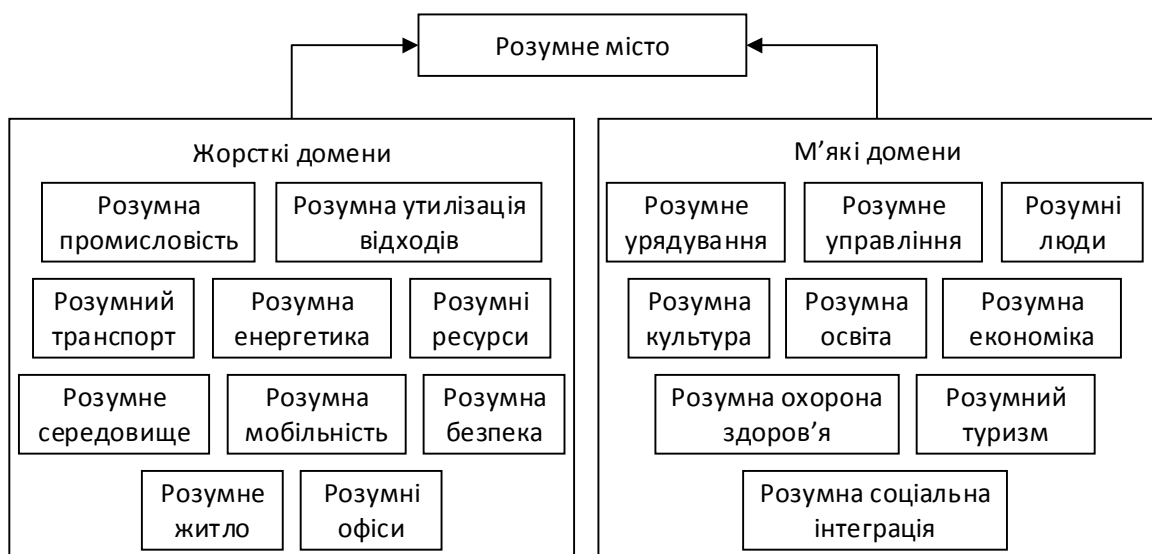


Рисунок 1.4 – Складові компоненти концепту «розумне місто»

В множині «жорстких доменів» подано інженерні та інфраструктурні міські складові [60], [61], а сформоване на основі «м'яких доменів» соціокомунікаційне середовище «розумного міста» фокусується на формуванні та ефективному функціонуванні інноваційного заснованого на знаннях міського

соціуму [62]. Інтеграція даних, отриманих з фізичних пристроїв-давачів та соціальних джерел, дозволяє формувати максимально повну картину щодо перебігу різнотипових процесів у містах та підвищувати ефективність застосування статистичних та аналітичних методів їх опрацювання.

1.2 Засоби та інструменти оцінювання «розумності» міст

Значна увага фахівців з міського управління, муніципальних службовців, дослідників проблем урбаністики приділяється коректному формуванню рейтингових показників якості міського середовища з метою адекватного, повного та кваліфікованого оцінювання та визначення перспективних програм, планів та напрямів їх розвитку. Зокрема йдеться про оцінювання «розумності» міських утворень. У фінальному звіті Віденського університету [63] подано методологію оцінювання семидесяти європейських «розумних міст» середнього розміру відповідно до шести характеристик, зокрема «економіка», «мешканці», «урядування», «мобільність», «зовнішнє середовище» та «якість життя». При формуванні підсумкового звіту враховувався тридцять один фактор та сімдесят чотири індикатори. В роботі Ваноло (Vanolo) [64] подано обширний аналіз літературних джерел проведений з метою формування міждисциплінарної стратегії формування «розумного міста» та виокремлено, зокрема, зазначені шість характеристик.

У праці Лазаруа (Lazaroiu) та Росця (Roscia) [65] подано методологію побудови енергоефективної моделі «розумного міста» на основі вісімнадцяти індикаторів, що належать до п'яти міських характеристик, зокрема «економіка», «зовнішнє середовище», «енергетика», «мобільність» та «урядування».

Цугіарісом (Zygiaris) [56] розроблено шестирівневу систему оцінювання «розумності» міста, котра включає рівні міста, середовища, взаємодії, інструментарій, інтеграцію, прикладні застосунки та інновації, а на веб-ресурсі

smart-cities.eu [66] подається рейтингування та параметризація європейських проектів «розумних міст».

Дещо відмінним від зазначених є азійський підхід до оцінювання «розумності» міст. В роботі Лу (Lu) [67] визначено п'ять критеріїв оцінювання для десяти китайських проектів «розумних міст», зокрема проаналізовано «комунікації», «бізнес», «людський капітал», «зовнішнє середовище» та «публічні послуги».

В роботі [68] подано методичку візуалізації процедур експертного оцінювання «розумності» міст з використанням інструментарію радарних діаграм а в [69] подано процедуру експертного оцінювання «розумності міста» із застосуванням апарату нечіткої логіки, а ілюстрації подані на прикладі соціополісу курортного міста Трускавець. В дисертації були проаналізовані та враховані перелічені методички та критерії оцінювання «розумності» міст.

1.3 Інформаційні технології та системи «розумного міста»

«Безсумнівно, що базовим та фундаментальним поняттям було, є і залишається поняття ІНФОРМАТИКИ (informatique – франц.) як фундаментальної науки, котра вивчає найбільш загальні закони та закономірності процесів відбору, реєстрації, збереження, передавання, захисту, опрацювання та подання інформації» [70].

«Строге ж означення та подання предмету досліджень інформатики, а саме – інформації, має справу з фундаментальним не редукованим поняттям і фіксується у словниках як «informatio» (лат.) – відомості, повідомлення» [70].

«Особливо наголосимо на тому, що фундаментальна наука та її результати не призначені для безпосереднього промислового використання.

1. Для комп'ютерних наук характерною ознакою виділення їх у спектрі прикладних наук є об'єкт прикладення знань, умінь та навичок у контексті конкретного об'єкту – обчислювача (комп'ютера).

2. Іншою відокремленою прикладною науковою галуззю, що базується на підвалинах інформатики, є розділ прикладних наук, основним об'єктом яких є сам процес обчислень. Це науки, які іменуються обчислювальними науками – «*computation science*» (англ.). Традиційно сюди відносять обчислювальну та комп'ютерну математику.

3. Третьою прикладною науковою галуззю, яка ґрунтується на фундаментальних законах інформатики, є розділ прикладних наук, основним об'єктом яких є інформаційний ресурс (у сучасній літературі часто вживається поняття «контент» (*content*, англ.). У розумінні інформаційного наповнення. Ці прикладні науки одержали назву «інформаційні науки», або «науки про дані» (*information science, data science*, англ.)» [70].

«Технологія (від грецького *techne* – мистецтво, майстерність, вміння та грецького *logos* – знання) – сукупність методів та інструментів для досягнення бажаного результату, спосіб перетворення чогось заданого на необхідне» [70].

«Технологія включає в себе методи, прийоми, режими роботи, послідовність операцій та процедур» [70].

«Інформаційні технології використовують комп'ютерні та програмні засоби для реалізації процесів відбору, реєстрації, подання, збереження, опрацювання, захисту та передавання інформації – інформаційного ресурсу у формі даних та знань – з метою створення інформаційних продуктів» [70]. В даному випадку користувачами інформації будуть муніципалітети, мешканці та гості міст в яких реалізуються проекти «розумного міста».

Відповідно до ДСТУ 2392-94: «Інформаційна система – це комунікаційна система, що забезпечує збирання, пошук, оброблення та пересилання інформації» [71].

Закон України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» [72] визначає «інформаційну (автоматизовану) систему як організаційно-технічну систему, в якій реалізується технологія обробки інформації з використанням технічних і програмних засобів».

«Інформаційна система (ІС) подається як певний набір інформаційних технологій, що в комплексі зорієнтовані на досягнення певної системної мети, виконуючи задані функції та пропонуючи при цьому споживачам якісні інформаційні продукти та сервіси» [70].

За даними ООН [73] *«для успішної стійкої урбанізації необхідні компетентні, чутливі та ефективні урядові інституції, відповідальні за управління та розширення міст, а також ефективне використання інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) з метою підвищення якості надання муніципальних послуг».*

«Розумне місто виділяється як набір інноваційних концепцій, в яких визначальною є роль соціальної інтеграції та Інтернету для створення нових підприємств та робочих місць з метою надання високоякісних послуг та розширення можливостей громадян щодо інформаційного обміну» [74].

«Розумні міста використовують інформаційні та комунікаційні технології для покращення: якості життя громадян, економіки, транспорту, навколишнього середовища та взаємодії з владою» [75].

«Розумне місто має інтегровану інфраструктуру та технології для поліпшення функціонування міста та досягнення цифрової трансформації міських систем» [76].

1.4 Ресурсні мережі «розумних міст»

Ресурсні мережі «розумних міст», або мережі постачання ресурсів (англ. resource delivery networks), є засобами постачання доступних ресурсів, зокрема електроенергії, води, газу та тепла і зазвичай формуються на основі розлогої міської інфраструктури. При цьому доцільно виокремлювати інженерні мережі відведення стічних та каналізаційних вод, засоби збирання, вивезення, переробки та утилізації сміття і т. ін. Комунікаційні мережі доцільно розглядати як специфічний вид ресурсних мереж, які забезпечують процеси передавання інформації.

Загальні принципи побудови ІТР для супроводу процесів постачання ресурсів з використанням ІТ «Інтернет речей» у «розумних містах» подано в [77], [78], а в [79] подано обширний огляд систем електропостачання «розумних міст» побудованих на основі ІТ «Інтернет речей» та «GRID». В [80] подано опис процесів інтеграції даних та відповідних інструментів, які використовуються при плануванні постачання та використання енергоносіїв «розумного міста», зокрема газу, а в [81] системно подано досвід забезпечення сталого енергопостачання великих міст з використанням такого ресурсу, яким є природний газ.

Ситуацію, яка склалась з водопостачанням у «розумних містах» США, розглянуто в роботі [82], а в [83] на іспанському досвіді подано відомості щодо технологічної підтримки процесів «розумного» вимірювання витрат води в побуті. Інноваційна система подачі низькотемпературного централізованого опалення «розумних міст» розлого описана в роботі [84].

1.5 Соціокомунікаційні мережі «розумних міст»

Протягом останніх років завдяки використанню мобільних давачів та IoT-пристроїв [85] відбулося безпрецедентне збільшення кількості різнотипових інформаційних потоків отриманих з соціальних джерел та мереж [86] інтегрованих з глобальною мережею Інтернет. Однією з сучасних технологічних інновацій є об'єднання інформаційних потоків соціальних та сенсорних мереж з метою пошуку певних кореляцій та суттєвого розширення спектру інформаційних та сервісних послуг «розумного міста».

«Соціальна мережа формально визначається як сукупність соціальних суб'єктів, пов'язаних одним або декількома типами відношень» [87]. Соціальні актори можуть бути окремими особами, групами, організаціями та довільними сутностями, які можуть бути пов'язані з іншими сутностями, наприклад веб-сторінки, блоги, електронні листи, миттєві повідомлення, сім'ї, журнальні статті, географічні локації, галузі чи нації [88].

Соціокомунікаційна мережа «розумного міста» в першому наближенні може бути подана як певний набір різнопрофільних соціальних мереж. В мережі соціальних комунікацій, соціальні актори – це переважно особи або спільноти, котрі встановлюють взаємини з метою спілкування з використанням ІТ-засобів [89]. Переваги комплексного використання соціокомунікаційних мереж при реалізації проектів «розумних міст» були продемонстровані в контексті розширення співробітництва Європейської спільноти при фінансуванні крупних наукових програм та проектів [90], [91]. У цьому контексті в якості рівноправних джерел даних у інформаційно-технологічних проектах для «розумних міст» доцільно використовувати різнопланові та різнотипові дані, отримані, зокрема, з муніципальних установ соціальної пам'яті, якими є музеї, бібліотеки, архіви, ЗМІ, і т. ін [30].

1.6 Аналіз інформаційних технологій супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

Базовим класом інформаційних технологій називатимемо множину (клас) багаторазово апробованих та верифікованих ІТ, які дозволяють вирішувати чітко окреслений клас інформаційно-технологічних завдань, що націлені на системну реалізацію основних інформаційних процесів і ефективно забезпечують розв'язання певної ІТ-проблеми.

В дисертаційній роботі основна увага приділена п'яти базовим класам (типам) ІТ, які в сукупності формують відповідну ІТР, а саме [29]:

1. ІТ «Інтернет речей» (англ. Internet of Thing – IoT) записуватимемо як IT_{IoT} .
2. ІТ «Туманні обчислення» (англ. Fog Computing – FC) записуватимемо як IT_{FC} .
3. ІТ «Хмарні обчислення» (англ. Cloud Computing – CC) записуватимемо як IT_{CC} .
4. ІТ «Великі дані» – BD (англ. Big Data) записуватимемо як IT_{BD} .
5. ІТ «Аналітика великих даних» – BDA (англ. Big Data Analytics) записуватимемо як IT_{BDA} .

Ключові етапи опрацювання даних з використанням п'яти базових класів ІТ подано на рисунку 1.5. Очевидно, що кожна з зазначених та розглянутих в дисертації п'яти базових ІТ фактично є окремим інформаційно-технологічним класом, який включає потужну множину різновидів, що відрізняються один від одного в межах заданого класу певними особливостями, специфікою побудови та використання, а також характерними ознаками.

Для більш точного задання та ідентифікації конкретних ІТ того чи іншого класу в роботі використовуються додаткові індекси, як то $IT_{IoT} = \{IT_{IoT}^i | i = \overline{1, n}\}$, що читається наступним чином – клас ІТ «Інтернет речей» містить n різновидів.

Аналогічно формально подаються описи інших базових класів (типів) ІТ, які можуть використовуватись при побудові ІТР реалізації проектів «розумних міст», зокрема «Геоінформаційні технології», «Мобільні технології» і т. ін.

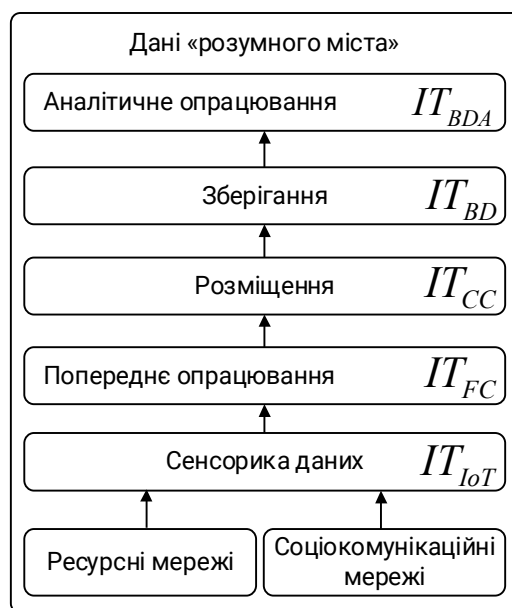


Рисунок 1.5 – Ключові інформаційні процеси з використанням базових класів ІТ в «розумному місті»

Запропоноване в дисертаційній роботі формальне подання п'яти базових класів (типів) ІТ дозволяє зручніше та компактніше ідентифікувати досліджувані об'єкти та характеризувати інформаційні процеси, які в них протікають.

1.6.1 Інформаційна технологія «Інтернет речей» в системах «розумного міста»

Концепція інформаційної технології «Інтернет речей» (IoT) була запропонована Кевіном Ештоном в 1999 році [92], коли набули поширення технологічні пристрої інтегровані з комунікаційними засобами [93]. «Інтернет речей» визначається як *«самоорганізовані системи без концептуальних обмежень, що входять до складу конвергентних систем, та призначені для підвищення ефективності процесів в цих системах»* [94]. IoT-пристрої [95] визначаються як мережа пов'язаних, інтегрованих в міське середовище об'єктів або пристроїв з ідентифікаторами, між якими, за допомогою стандартних протоколів зв'язку, може відбуватися обмін повідомленнями без втручання людини. На даний час кількість підключених пристроїв за технологією «Інтернет речей» перевищила чисельність населення планети. Розроблено та ефективно використовується величезна кількість пристроїв IoT, котрі застосовуються в якості стандартних блоків при побудові інформаційних систем у «розумних містах» [96].

ІТР на базі IT_{IoT} для «розумних міст» були розроблені в контексті подання ряду муніципальних послуг, зокрема процесів постачання електроенергії, води, забезпечення підтримки транспортної інфраструктури, моніторингу якості повітря і природного середовища загалом [97]. На даний час реалізовано ряд проектів IT_{IoT} які забезпечують моніторинг міського середовища [98]. Використання IT_{IoT} та інтелектуальних систем приводить до суттєвого збільшення кількості взаємозв'язаних пристроїв на базі IoT спричиняючи значне зростання об'ємів переданих і накопичених даних. Проте переважна більшість згаданих ІС (Інформаційних систем) експлуатується локально, не використовуючи переваги створення та опрацювання великих за обсягом, слабо структурованих та швидко змінюваних даних. Технологічно це повинно супроводжуватися сактивним використанням процедур аналітичного опрацювання як в режимі офлайн, так і в режимі онлайн. На даний час на ринку

відсутні ефективні технічні засоби побудови систем, що вирішували б задачі такого класу.

Проектом «Smart Santander» [99] передбачено проведення оцінювання ключових складових IT_{IoT} , зокрема основних механізмів та протоколів взаємодії й процесів управління для широкого спектру різнотипових давачів, що розгорнуті в європейських містах. Проект «City Sense» [100] спрямований на покращення «розумної» інфраструктури та підвищення якості надання послуг з використанням муніципальних ресурсів (зокрема електроенергії, води, транспортного трафіку і т. ін.). У відомих публікаціях щодо реалізованих на даний час проектів у «розумних містах» не міститься відомостей щодо особливостей їх практичної реалізації. Актуальною залишається задача проектування багаторівневої архітектури ІС «розумного міста» на основі IT_{IoT} [101] та розроблення ефективних процедур комплексної взаємодії інформаційних та комунікаційних технологій, здатних ефективно збирати, зберігати, виконувати оперативне опрацювання та аналіз «Великих даних» з метою підтримки процесів прийняття управлінських рішень в режимі реального часу [35].

Інформаційні технології, такі як клас технологій включаючи IT_{IoT} [102], є перспективними інформаційно-технологічними засобами становлення та розвитку ІТР в сучасних містах та потребують розроблення наукових та методологічних засад їх ефективного використання. IT_{IoT} в проектах «розумних міст» передбачає якнайширше застосування можливостей взаємодії людей та різнотипових комп'ютерних пристроїв [103], що активно використовуються для трансформації міст та набуття ними ознак «розумних», суттєво підвищуючи при цьому ефективність процесів управління в найрізноманітніших сферах міського життя [104].

1.6.2 Інформаційна технологія «Туманних обчислень» в системах «розумного міста»

Концепція інформаційних технологій класу «туманних обчислень» (fog computing) передбачає переміщення обчислювальних процесів з

хмарного (cloud) середовища до мережевих ресурсів [105] максимально наближених до джерел даних, котрі розміщені на нижньому (сенсорному) рівні ІТР «розумного міста». *«Туманні обчислення» по суті є віртуалізованою інформаційно-технологічною платформою, що дозволяє надавати послуги щодо виконання обчислень, зберігання даних та створення мереж між базовими IoT-пристроями та хмарними платформами»* [105].

«Туманні обчислення» – як концептуальна архітектурна платформа призначена забезпечувати процеси обміну інформацією та управління мережею [106], зокрема, «туманні» вузли отримують вихідні дані з сенсорного рівня, інтегрованого в міське середовище, виконують їх попереднє опрацювання та надсилають їх за допомогою Інтернет до хмарної ІТР «розумного міста».

«Туманні» вузли, залежно від контексту, можуть виступати і як клієнти, і як сервери. З точки зору сенсорних пристроїв, «туманні» вузли є серверами застосунків, які отримують дані про середовище «розумного міста» та розглядаються як точки доступу, оскільки саме вони створюють приватні мережі для зв'язку між сенсорним та «туманним» рівнями. З іншого боку, «туманні» вузли є клієнтами хмарних сервісів та застосунків «розумного міста», котрі, за допомогою Інтернет, підключаються з метою пересилання даних, отриманих з сенсорного рівня.

В роботі [107] Шін (Shih) підкреслює потребу перенесення обчислювальних процесів поближче до інформаційних джерел в комплексі з розробленням відповідних алгоритмів та програмних засобів. В роботі [108] Тортонесі (Tortonesi) та інші подають інноваційну інформаційно-центричну модель IT_{FC} для «розумних міст», пропонуючи розширити модель хмарних обчислень (англ. cloud computing), додавши до неї Fog-as-a-Service (туман як сервіс) та відзначаючи потребу розроблення та впровадження відповідних програмно-алгоритмічних засобів.

Гоул (Goul) та інші [109] наголошують на важливості розроблення методів аналітичного опрацювання даних в системах «розумних міст»,

адаптованих до інтеграції з IT_{FC} . В [110] подано відомості щодо керованої, програмованої та віртуалізованої графічної платформи, призначеної для аналізу IT_{IoT} в «розумних містах» з використанням IT_{FC} .

В одному з розділів монографії [111] Хосейніан-фар (Hosseinian-Far) подає відомості щодо нових тенденцій в таких класах інформаційних технологій, як IT_{IoT} , IT_{FC} , IT_{CC} і IT_{BD} для «розумних міст», відзначаючи, при цьому, важливість розроблення та впровадження інтернет-технологій для побудови муніципальних сервіс-орієнтованих систем.

В роботі Юін (Yin) та Лао (Lao) [112] сформульовані задачі та процедури розподілу ресурсів для «розумного» виробництва. При цьому зазначено актуальність розроблення методів побудови багаторівневих, територіально розосереджених ІС комерційного призначення з базами даних, які використовуються в якості окремих підсистем у системах «розумного міста».

1.6.3 Інформаційна технологія «Хмарних обчислень» в системах «розумних міст»

Національний інститут стандартів і технологій уряду США (NIST) визначає хмарні обчислення (англ. cloud computing) як *«інформаційно-технологічну концепцію, що передбачає забезпечення повсюдного і зручного мережевого доступу за вимогою до загального пулу (англ. pool) конфігурованих обчислювальних ресурсів (наприклад, мереж передачі даних, серверів, пристроїв зберігання даних, застосунків і сервісів – як разом, так і окремо), які можуть бути оперативно надані та вивільнені з мінімальними експлуатаційними витратами або зверненнями до провайдера»* [113].

ІТ-дослідницька та консалтингова компанія Gartner використовує спрощене визначення хмарних обчислень *«як стиль обчислень, в яких масштабовані та еластичні (англ. Elastic Computing) обчислювальні можливості ІТ-підтримки подаються як сервіс на базі інтернет-технологій»* [114]. Для покращення розуміння сутності IT_{CC} , їх можна

асоціювати з реалізацією процедур оренди в порівнянні з процедурами покупки. Адже замість того, щоб купувати власне дороговартісне обладнання та програмне забезпечення, міський муніципалітет може орендувати потрібні ресурси (обчислювальні потужності, дисковий простір, застосунки і т.п.) в провайдерів хмарних сервісів та скористатись ними за допомогою Інтернет. При цьому оплата відбувається виключно за часові інтервали фактичного використання відповідних ресурсів.

IT_{CC} набувають щораз більшого поширення та доступності в ІТ проектах «розумних міст» завдяки можливості оперативного отримання на вимогу необхідних ресурсів з пулу віртуалізованих сервісів для еластичного вирішення масштабованих обчислювальних задач [115], оскільки вони дозволяють оптимізувати, організувати і підтримувати послуги щодо програмного та апаратного забезпечення засобами Інтернет [116].

Ряд солідних наукових публікацій присвячено використанню IT_{CC} в проектах «розумних міст». Зокрема в роботі [117] Енаєт (Enayet) подано опис оптимальної архітектури розподілу ресурсів для мобільної хмари в «розумному місті», а в одному з розділів монографії [118] Бут (Booth) критично проаналізував важливість IT_{CC} для реалізації інформаційних систем в «розумних містах». В багатьох роботах автори підкреслюють необхідність розроблення наукових та методологічних основ застосування IT_{CC} та ІС для автоматизованого опрацювання даних та процесів управління в «розумному місті» [34]. В [119] Янг (Yang) та інші подають розподілений метод опрацювання зображень в хмарних ІС «розумних міст», а в [120] Цархополус (Tsarchopoulos) з колегами досліджує методи прискорення роботи застосунків, реалізованих на основі IT_{CC} , акцентуючи увагу на дослідженні, розробленні та впровадженні хмарно-орієнтованих інтернет-технологій для побудови сервіс-орієнтованих систем.

Проекти CLOUDFOREUROPE [121], OpenContrail [122], OPTIMIS [123], PRISMACLOUD [124], RESERVOIR [125], VISION-CLOUD [126],

започатковані під патронатом Європейської комісії в рамках «Європейської хмарної стратегії 2012» [127] та «Європейської хмарної ініціативи» для формування спільних загальноєвропейських хмарних сервісів і створення нових IT_{CC} , зокрема, для галузей управління ресурсами, безпеки та ін. [128].

1.6.4 Інформаційна технологія «Великі дані» в системах «розумних міст»

«Великі дані» (Big Data) – термін, який використовується для позначення експоненційного збільшення обсягів даних, які важко, або не можливо, зберігати, опрацьовувати та аналізувати за допомогою засобів, притаманних технологіям традиційних БД (Баз даних). «Великі дані» характеризуються слабкою структурованістю та потребують використання значних обчислювальних потужностей для реалізації процесів ідентифікації корисних інформаційних наборів та знань [129]. «Великі дані», як новий інформаційно-технологічний концепт сучасного інформаційного суспільства, науки, промисловості та бізнесу, пов'язані з широким спектром найрізноманітніших аспектів людської діяльності. Існує декілька підходів щодо визначення терміну «Великі дані» та подання його характеристик, зокрема в [130] наведено наступне його визначення: *«обсяги даних, що знаходяться поза здатністю існуючих технологій їх зберігати, керувати ними та ефективно опрацьовувати»* а в [129] подано ще одне визначення: *«Великі дані представляють собою набір методів та технологій, що вимагають нових форм інтеграції, для розкриття прихованих знань у великих за обсягом наборах даних, різних за своєю структурою, складністю та характеристиками»*.

Дослідженню питань використання технологій IT_{BD} як ІМ (Інформаційна модель) різнотипових комплексів та систем «розумного міста» присвячено значна кількість яскравих наукових публікацій. Зокрема в [131], [132] подано аналіз досвіду використання IT_{BD} в різних сферах «розумних міст» та зроблені акценти на актуальності досліджень в галузі сучасних ІТ які використовуються

для формування БД і СД (Сховище даних) автоматизованих систем комп'ютерної підтримки управлінських рішень. В роботі [133] Ву (Wu) подано тайванський досвід побудови інформаційних систем «розумних міст» та перспективи використання технологій класу IT_{BD} . В роботі, окрім «Великих даних», авторами у вигляді окремих шарів подано класи технологій IT_{IoT} та IT_{CC} . Відзначено, що окрім соціальних мереж, джерелами соціальних даних може виступати значно ширше коло інформаційних джерел. Зокрема зроблено наголос на використанні при цьому інформаційних колекцій установ соціальної пам'яті, зокрема музеїв, бібліотек, архівів, ЗМІ (Засобів масової інформації) та різного роду муніципальних установ [36].

В [134] Аль Нуаймі (Al Nuaimi) проаналізовано програмні застосунки, які функціонально зорієнтовані на потреби «розумних міст», що базуються на технологіях класу IT_{BD} . В [135] автори подають опис інформаційно-технологічних інновацій та IT_{BD} для «розумних» сервісних систем та підкреслюють важливість дослідження, розроблення та впровадження інтернет-технологій для побудови сервіс-орієнтованих систем як складових елементів інформаційних систем «розумних міст».

Стан досліджень класу технологій IT_{BD} для «розумних міст» проаналізовано Вайтом (White) в роботі [136], а в [137] Чаухан (Chauhan) та інші подають результати системного огляду літературних джерел щодо використання IT_{BD} в інформаційних системах «розумних міст».

Використанню IT_{BD} в проектах, зорієнтованих на «розумні міста», присвячена робота групи авторів на чолі з Воігтом (Voigt) [138]. В роботах [139]–[141] проаналізовано роль IT_{BD} в реалізаціях інформаційних систем для «розумних міст» та акцентється увага дослідників на проектуванні та реалізації систем розподіленого опрацювання муніципальних наборів даних. В публікаціях [142], [143] подано результати досліджень щодо використання IT_{BD} для урядування в «розумних містах», а в роботі [144] Міттал (Mittal) розглядаються питання підвищення рівня якості життя в «розумних містах» та

відзначається важливість створення та використання ІТ на базі IT_{BD} для муніципальних територіально розосереджених систем і мереж на основі розподілених БД та знань. В [145] Кох (Koh) подає архітектуру «концентратора даних» «розумних міст», а в [146] подано архітектуру IT_{BD} для «розумних» міських спільнот, громадського транспорту, прогнозування погоди та міських систем охорони здоров'я. Робота [147] присвячена розробленню великих БД, що містять відомості щодо будівель «розумного міста», а в [148] Раясекар (Rajasekar) та іншими дослідниками подано розлогі відомості щодо застосування IT_{BD} при реалізації інноваційної концепції «розумного» будинку.

Тахат (Tahat) та інші, в роботі [149] подають опис системи комп'ютерного моніторингу міського середовища та комплексу технологій аналітичного опрацювання накопичених «Великих даних». Автори роботи [150] розглядають IT_{BD} в контексті підвищення якості процесів міського планування умовах «розумних міст». В [151] досліджуються перспективи використання IT_{IoT} та IT_{BD} в інформаційних системах «розумних міст», а в [152] Ратором (Rathore) та іншими подано базові аспекти використання IT_{IoT} та IT_{BDA} в процесах планування та розвитку «розумних міст».

1.6.5 Інформаційна технологія «Аналітика великих даних» в системах «розумних міст»

В роботі [153] Дей (Dey) описує методи аналітичного опрацювання на базі IT_{BDA} та IT_{IoT} , а в [154] Ромеро (Romero) подає опис методів аналітичного опрацювання, розроблених на основі архітектури інформаційної системи «розумного міста», побудованої з використанням IT_{IoT} . В роботах [155], [156] проаналізовано стан досліджень класів технологій IT_{BDA} та IT_{IoT} . В публікаціях [157], [158] подано архітектуру оригінальної програмної платформи на основі ІоТ пристроїв з потоковим опрацюванням «Великих даних».

Псомакеліс (Psomakelis) досліджує алгоритмічний базис IT_{BD} від IoT-пристроїв та соціальних мереж «розумного міста» підкреслюючи важливість розроблення ІТ для аналізу та синтезу структурних, інформаційних та функціональних моделей інформаційних сутностей та ряду інших інформаційно-технологічних процесів у системах «розумного міста» [159].

Ченг (Cheng), Бо (Bo) та автори роботи [160] подають архітектуру індустріальних кібер-фізичних систем з використанням IT_{BD} , IT_{IoT} та IT_{CC} . Аналітичне опрацювання та управління «Великими даними» «розумного міста» на основі IT_{CC} -платформ подано в роботах [161, 162]. У [163] авторський колектив на чолі з Санілою (Sanila) розглядають видобування знань з «Великих даних» в режимі реального часу та перспективи їх використання у системах «розумного міста».

Сенсорика «Великих даних» «розумного міста» та їх аналітичне опрацювання подані Хабібзадехом (Habibzadeh) та іншими в [164], а роботи [165], [166] присвячені розробленню «фреймворків» для збирання та аналітичного опрацювання «Великих даних» в «розумному місті». Створення «фреймворку» для опрацювання даних соціальних мереж «розумного міста» подано Коусіоурісом (Kousiouris) в [167].

Процеси видобування та аналітичного опрацювання «Великих даних» «розумного міста» проаналізовані в [168], а Еньяет (Enayet) в [117] подає методику оптимізації мобільної хмарної архітектури для «Великих даних» «розумного міста». Янг (Yang) в [119] досліджує метод розподіленого опрацювання зображень на основі хмарних обчислень для «Великих даних» в системах відеоспостереження у «розумних містах». Перез-Чакон (Pérez-Chacón), Рубен (Rubén) та інші в [169] аналізують варіанти алгоритмів щодо ефективного використання електричної енергії на основі IT_{BDA} , а в [170] подаються відомості щодо ефективного використання IT_{BDA} у системах водопостачання «розумних міст».

В роботах [171], [172] розглядається інструменти підтримки прийняття рішень на основі IT_{BDA} в міському середовищі, а в [142] досліджено управління «розумними містами» з використанням IT_{BDA} .

1.7 Аналіз існуючих систем інформаційно-технологічної підтримки процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста»

На даний час багато міст розгорнули інформаційно-технологічну та комунікаційну інфраструктуру на IT_{IoT} та різноманітних сенсорних пристроях, інтегрованих в міське середовище з метою постійного збирання даних. Зокрема Intel Labs Europe у співпраці з Дублінської міською радою розгорнув загальноміську IT-інфраструктуру для відслідковування та моніторингу параметрів екологічного стану міста [173]. Компанія IBM реалізувала IT-проект в Дубліні для збору даних щодо дорожнього руху, отриманих за допомогою інтегрованих в муніципальну дорожню інфраструктуру датчиків [174]. Система ITP «Supertrees» [175] розроблена для збору колекцій даних щодо стану навколишнього середовища в місті-державі Сінгапур, зокрема йдеться про якість і температуру повітря та кількісні характеристики опадів. Окрім того в місті реалізовано інтегровану мережу датчиків руху та мобільних GPS-пристроїв вбудованих в муніципальні таксі для відстеження та прогнозування інтенсивності транспортного трафіку. В датському Орхусі (дан. Århus) розгорнуто мережу датчиків руху інтегрованих в муніципальні дороги, що подають зібрані колекції даних за допомогою ITP ODAA [173].

Муніципальні відкриті дані подаються за допомогою Міського Порталу даних міста Чикаго [176] а в Сан-Франциско впроваджено загальнодоступну централізовану колекцію наборів міських даних [177].

Окремо слід згадати про реалізований в межах проекту «Smart City Seoul» (м. Сеул, Південна Корея) [178] «Менеджер інфраструктури», котрий дозволяє управляти повсюдними сенсорними мережами та надавати адміністратору доступ до інформації щодо інтегрованих датчиків, зокрема ID,

USN (англ. Ubiquitous Sensor Networks – повсюдні сенсорні мережі) ID, USN-топології, історію, MAC-адресу, IP-адресу і т.п. Інформаційні набори доступні в контексті кожного давача та використовуються для управління цими пристроями. Можливість управління віддаленими пристроями базується на використанні GRID-технологій, зокрема на засобах, що підтримуються Globus Tele Control Protocol (GTCP) та Globus Toolkit 4 [179], [180].

ІТ-проекти iCity [181] та SmartSantander [182] реалізовані для забезпечення централізованих платформ доступу до муніципальних даних, отриманих з численної множини гетерогенних давачів, інтегрованих в різноманітних локаціях багатьох європейських міст.

Відомості щодо реалізованих на даний час ІТР для потреб «розумних міст» подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Реалізовані ІТР для потреб «розумних міст» [183]

Базові функції	Платформи								
	iCity	SmartSantander	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	і	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

Для вирішення проблем, пов'язаних з неоднорідністю зібраних міських колекцій даних, були зроблені кроки щодо використання семантичних технологій, зокрема таких як OpenIoT [184], Spitfire [185] та iCore [186]. Європейський проект OpenIoT надає програмне забезпечення для доступу до даних, отриманих за допомогою IoT-пристроїв та описаних за допомогою семантичних моделей, зокрема SSN (англ. Social Security Number).

У проєкті Spitfire використовуються семантичні технології для забезпечення уніфікованого способу пошуку, інтерпретації та перетворення сенсорних даних, реалізуючи, при цьому, мінімальний набір сервісів для доступу до інтегрованих даних, які діють як абстрактний шар між рівнями застосунків та даних.

В проєкті iCore реалізована дослідницька платформа для «розумних» міських застосунків, яка дозволяє узгоджувати неоднорідності об'єктів і пристроїв та оперувати поняттями віртуальних об'єктів і складових сутностей. Зібрані в режимі реального часу у міському середовищі дані відіграють важливу роль у розробленні «розумних» аналітичних муніципальних систем, котрі можуть автоматично визначати та ідентифікувати важливі події, наприклад, дорожньо-транспортні пригоди, запускаючи при цьому протоколи реагування та опрацювання відповідних ситуацій.

ITP PLAY [187] забезпечує інструментарій для управління подіями і виконує комплексне їх виявлення у великих за розміром, розподілених та неоднорідних системах.

Outsmart [188] – це службовий ресурсо-орієнтований програмний комплекс з реалізованою системою правил, та функціональними можливостями управління розподіленими гетерогенними ресурсами. Продукт IBM Star City [189] – є семантичною системою аналізу трафіку, яка інтегрує дані отримані з давачів від мешканців та таксі міста, а також міських джерел [190], та підтримує функції аналізу даних в режимі реального часу для ідентифікації подій, що стосуються транспортного трафіку у «розумному місті». Зокрема йдеться про аналітичне опрацювання повідомлень щодо корків на автомагістралях, дорожньо-транспортних пригод, тощо.

Проведений аналіз показав, що на даний час практично відсутні комплексні інформаційно-технологічні рішення щодо системного комплексного супроводу процесів в ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст».

1.8 Інформаційно-технологічна платформа системної реалізації концепту «розумного міста»

Інформаційно-технологічна платформа (англ. IT platform – ITP) – група ІТ, які в сукупності дозволяють комплексно (системно) вирішити проблему інформаційно-технологічного супроводу інформаційних процесів, що протікають в складних та гіперскладних системах. На основі аналізу широкого кола сучасних публікацій сформовано висновок про те, що базовими класами інформаційних та комунікаційних технологій при формуванні ІТР сучасних «розумних міст» [26], зокрема є:

- «Інтернет речей» (англ. Internet of Things – IoT) [6], [191] – IT_{IoT} .
- «Туманні обчислення» (англ. Fog Computing) [192] – IT_{FC} .
- «Хмарні обчислення» (англ. Cloud Computing) [193] – IT_{CC} .
- «Інформаційні моделі» (англ. Information Models – IM) [194] записуватимемо як IT_{IM} .
- Технології «Інтелектуального опрацювання даних» (англ. Intelligent Data Processing – IDP) та системи підтримки прийняття рішень (Decision Support Systems – DSS) [195] записуватимемо як IT_{IDP} що включає IT_{DSS} .
- «Мобільні технології» (англ. Mobile Technology – MT) [43], [44], [196] – як IT_{MT} .
- «Геоінформаційні технології» (англ. Geoinformation Technologies – GIS) [8], [197] записуватимемо як IT_{GIS} .
- «GRID-технології» (англ. GRID technology) [198] записуватимемо як IT_{GRID} .
- «Технології конфіденційного комунікування та захисту даних» (англ. Confidential Communication and Data Protection Technologies – CCDP) [199] записуватимемо як IT_{CCDP} .

В результаті проведеного аналізу базових класів інформаційних технологій та їх функціонального покриття основних інформаційних процесів сформовано

інформаційно-технологічну матрицю, яка подана у вигляді ненормалізованого відношення (nested relation, англ.) і зображена на рисунку 1.6.

Базові ІТ подані як атрибути, а типи інформаційних процесів подані кортежами. Інформаційно-технологічна матриця використовується для визначення місця, ролей та відношень між базовими класами ІТ при реалізації ІТР «розумного міста».

Тип інформаційного процесу	IT_{IoT}	IT_{MT}	IT_{GRID}	IT_{FC}	IT_{CC}	IT_{IM}	IT_{IDP}	IT_{GIS}	IT_{CCDP}
Подання даних		Мобільні застосунки для подання даних						Географічно-контекстні засоби подання даних	
Опрацювання даних		Мобільні обчислення	GRID-обчислення				OLAP Видобування знань DSS Онтології	Географічна кореляція даних	IPPS
	Туманне попереднє опрацювання даних					Аналітика великих даних			
Зберігання даних	Сховище як послуга (SaaS)				БД				
	Дані як послуга (DaaS)				Сховища даних				
	Сховище великих даних				Простори даних				
Передавання даних	Туманні засоби обмін даними							Географічна прив'язка засобів передачі даних	Block Chain
	Комунікаційні засоби та протоколи обміну даними IoT	Мобільні мережі	Ресурсні GRID-мережі						
Відбір даних		Мобільні сенсори	Смарт-фони					Географічна локація отриманих даних	
Реєстрація даних	IoT-пристрої та сенсори								
Захист даних									

Рисунок 1.6 – Інформаційно-технологічна матриця «розумного міста»

Нормалізуючи відношення, задане інформаційно-технологічною матрицею (див. додаток Б), подамо його у вигляді:

$$ITP = \langle IT, D \rangle, \quad (1.1)$$

де $IT = \{IT_I\}$, $I = \{IoT, FC, CC, IM, IDP, DSS, MT, GIS, GRID, CCDP\}$ – множина базових ІТ що використовується при формуванні ІТР у сучасних «розумних містах»;

$D = \{D_J\}$, $J = \{DS, DR, DL, DT, DC, DP, DV\}$ – етапи роботи з даними, зокрема, DR – реєстрація даних, DL – відбір даних, DT – передавання даних, DC – зберігання даних, DP – опрацювання даних, DV – подання даних, DS – захист даних.

Давачі та сенсори, розгорнуті на нижньому рівні ІС «розумного міста» для «жорстких доменів» (див. рисунок 1.7) разом із засобами відбору даних у соціокомунікаційному середовищі, є основними джерелами генерації гетерогенних наборів даних [24].

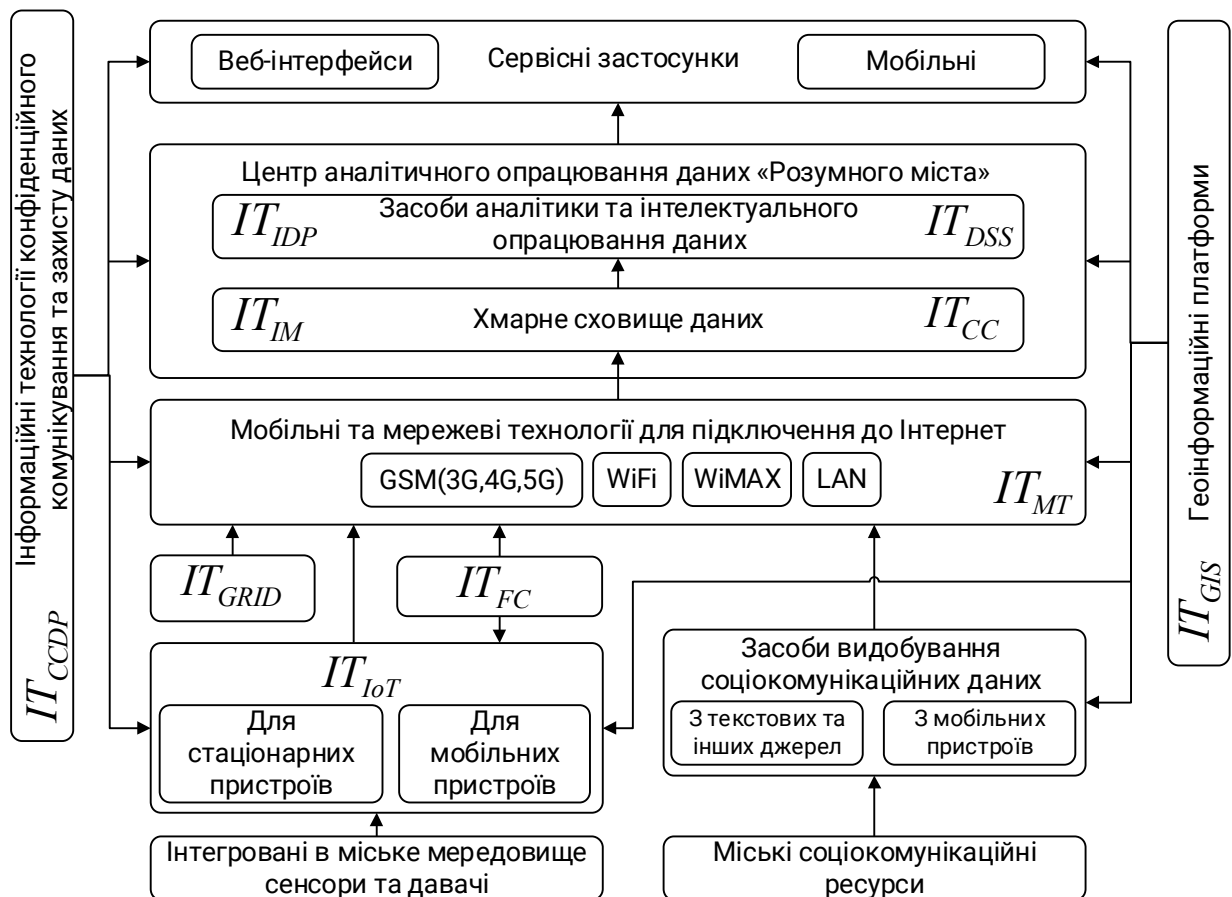


Рисунок 1.7 – Інформаційно-технологічні компоненти, що реалізують концепт «розумне місто»

Зібрані в ІС «розумного міста» великі за обсягом чисельні колекції різнотипових даних зазвичай опрацьовуються в центрі аналітичного

опрацювання, який розгортається на базі хмарної платформи з використанням хмарного СД [1]. Поєднання та інтеграція даних з «жорстких» та «м'яких» доменів дозволяє суттєво покращити експлуатаційні інформаційно-технологічні характеристики широкого спектру міських програмно-алгоритмічних застосунків, кількість яких стрімко та невпинно зростає. Інформаційні джерела, пов'язані з різними компонентами та підсистемами «розумних міст», дозволяють формувати великі за обсягом набори даних, які в переважній більшості випадків використовуються недостатньо ефективно. Сучасна інформаційно-технологічна інфраструктура, розгорнута на базі основних класів ІТ, дозволяє ефективно агрегувати згенеровані неоднорідні дані, їх консолідувати та опрацьовувати аналітичними засобами з метою суттєвого підвищення якості базових процесів у міських системах.

1.9 Задача та формування завдань дослідження

Використовуючи подані вище формальні описи можна констатувати, що в дисертаційній роботі *об'єктом дослідження* є процеси постачання ресурсів та формування сервісів для надання інформаційних послуг з використанням інформаційних технологій (ІТ), які належать до п'яти базових класів (типів), а саме IT_{IoT} , IT_{FC} , IT_{CC} , IT_{BD} , IT_{BDA} в контексті побудови інформаційно-технологічних платформ (ІТР) для супроводу процесів, що протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст». *Предметом дослідження* є моделі, методи та засоби формування процедур інформаційно-технологічного супроводу процесів постачання ресурсів та надання інформаційних послуг і сервісів мешканцям та гостям великого міста з використанням зазначених п'яти базових класів (типів) інформаційних технологій (ІТ) у великих за ознакою «кількість мешканців» містах.

Головним завданням дослідження є створення, на основі отриманих наукових результатів, прототипів та макетів конкретних ІТ рішень з врахуванням специфіки та актуального стану запровадження інноваційних ІТ-підходів щодо вирішення актуальних проблем ряду великих міст України і зокрема міста Тернопіль.

Висновки до розділу 1

1. Подано загальну характеристику концепту «місто», проведено аналіз процесів формування та трактування інноваційного концепту «розумне місто», розглянуті базові характеристики ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста».

2. Сформовано інформаційно-технологічну матрицю, з допомогою якої подано відповідне відношення на множині атрибутів «Базові класи ІТ» та проаналізовано інформаційно-технологічні складові концепту «розумне місто».

3. Проведено аналітичний огляд сучасних публікацій щодо стану та перспектив наукових досліджень в галузі інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Проведений аналіз показав, що нинішнє забезпечення інформаційно-технологічними засобами супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах міст зазвичай фрагментарне та клаптикове з яскраво вираженими нерівномірностями, що є характерним як для України, так і багатьох розвинутих країн світу. Практично відсутня загальноприйнята системна інформаційна технологія супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. Така ІТ повинна була б поєднувати основні етапи інформаційно-технологічного супроводу процесів як у міських ресурсних мережах, так і тих, що протікають в інтегрованому соціокомунікаційному середовищі з урахуванням потреб мешканців та гостей, проблем економічного та соціального розвитку, а також вимог ринків ресурсів, міської громади та регіону загалом.

Отже, актуальною науковою задачею є розроблення методів та засобів інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах відповідно до потреб окремих містян та міської громади загалом у відповідності до специфіки побудови та функціонування ринків енергоносіїв, матеріальних та інформаційних ресурсів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБЕРІГАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ У МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

2.1 Характеристика сховища даних ресурсних та соціокомунікаційних мереж

СД – предметно-орієнтований, інтегрований, незмінний, хронологічний набір даних, котрий може бути комплексним джерелом інформації для IT_{IDP} та IT_{DSS} [200]. СД для зберігання інформаційних сутностей щодо функціонування ресурсних мереж «розумного міста» має наступні особливості:

- отримання, нормалізація, збереження та подання в деталізованому та агрегованому вигляді даних з різнотипових джерел, інтегрованих в інфраструктуру міських ресурсних мереж;

- багатовимірне подання колекцій даних у супроводі метаданих з описами структури даних та структури СД для інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах;

- наявність програмних агентів для реалізації процедур імпорту даних з існуючих БД та СД організацій постачальників ресурсів та процедур їх вивантаження в універсальних форматах;

- наявність процедур комплексного аналітичного опрацювання на основі IT_{IDP} та IT_{DSS} з метою отримання нових даних та знань;

- предметна орієнтованість подання колекцій даних щодо перебігу процесів у ресурсних мережах «розумного міста».

Схема агрегації даних в СД для ресурсних мереж «розумного міста» подана на рисунку 2.1.

СД для зберігання інформаційних сутностей у соціокомунікаційних мережах «розумного міста» має наступні особливості:

- отримання, нормалізація, збереження та подання в деталізованому та агрегованому вигляді інформації з різнотипових джерел соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста», зокрема музеїв, бібліотек, архівів, ЗМІ, урядових установ та муніципальних організацій;

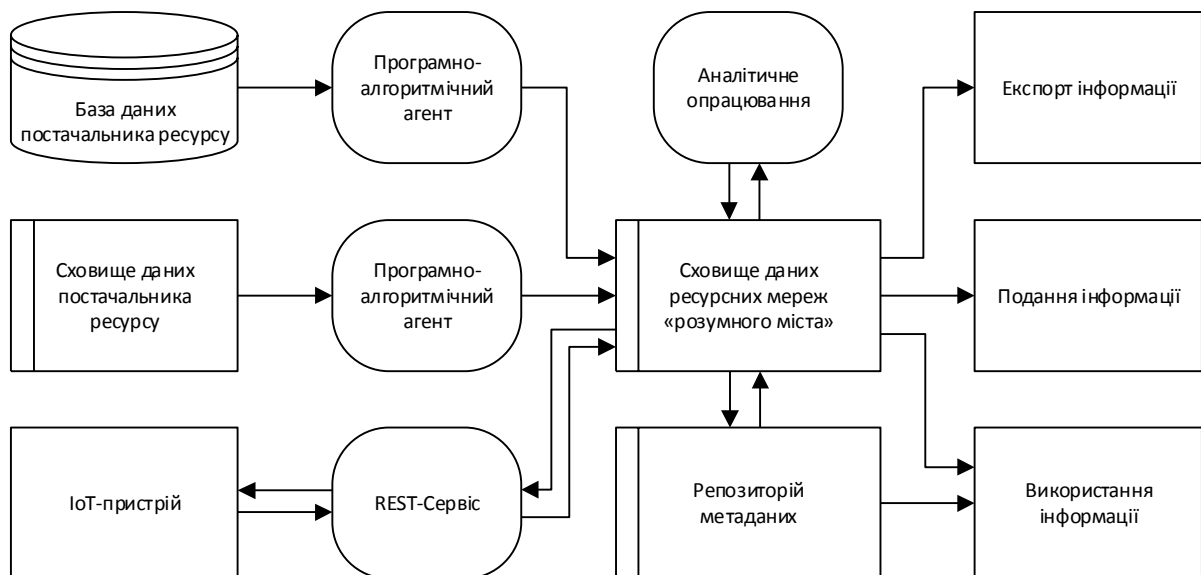


Рисунок 2.1 – Схема агрегації даних в СД для ресурсних мереж «розумного міста»

– багатовимірне подання колекцій даних у супроводі метаданих з описами структури даних та структури СД для процесів що протікають у соціокомунікаційних мережах;

– наявність програмних агентів для реалізації процедур імпорту даних з існуючих БД та СД музеїв, бібліотек, архівів, ЗМІ, урядових установ та муніципальних організацій та процедур їх вивантаження в універсальних форматах; наявність процедур комплексного аналітичного опрацювання на основі IT_{IDP} та IT_{DSS} з метою отримання нових даних та знань;

– наявність ПАК, мобільних та веб-застосунків для реалізації функції соціального комунікування та подання інформаційних сервісних послуг мешканцям та гостям «розумного міста»;

– предметна орієнтованість подання колекцій даних щодо перебігу процесів у соціокомунікаційних мережах «розумного міста».

Схема агрегації даних в СД для соціокомунікаційних мереж «розумного міста» подана на рисунку 2.2.

Узагальнене подання СД щодо інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста» має наступні особливості:

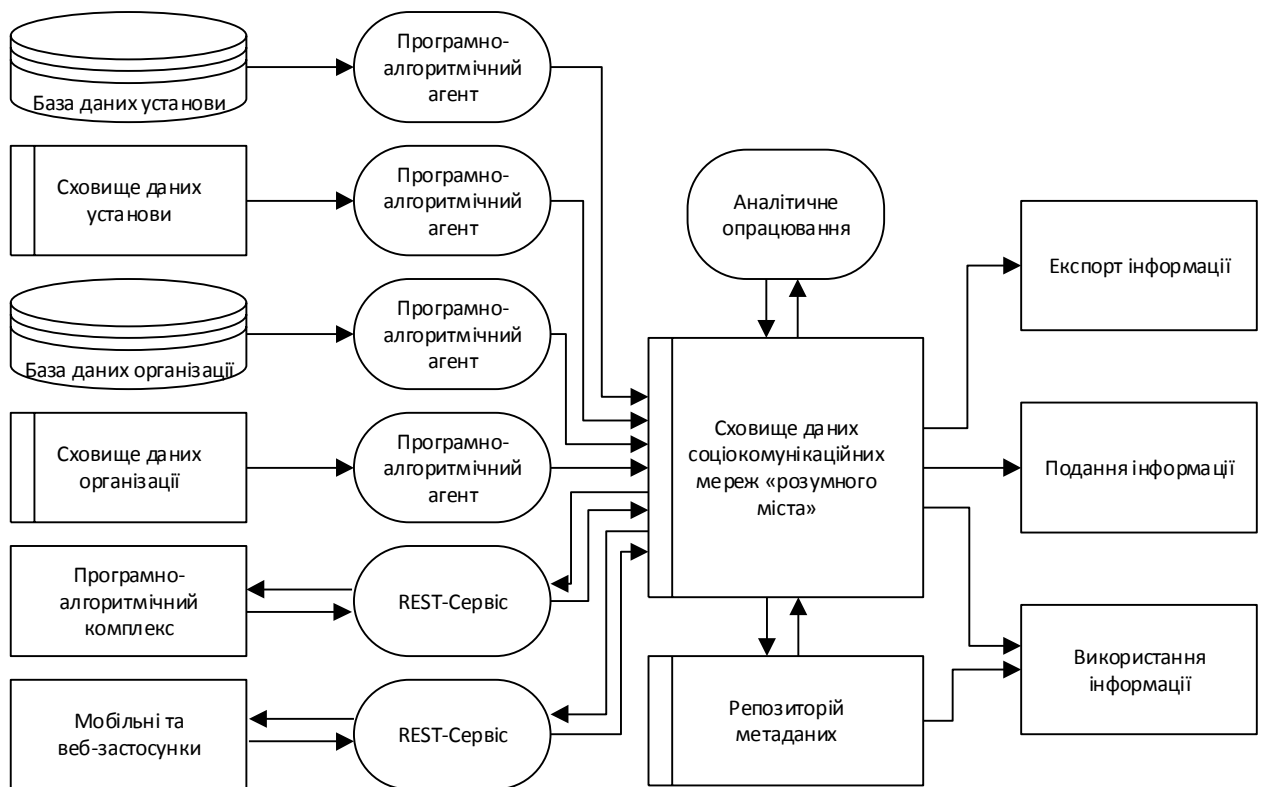


Рисунок 2.2 – Схема агрегації даних в СД для соціокомунікаційних мереж «розумного міста»

Предметна орієнтація. Дані в СД організовані відповідно до основних аспектів діяльності міських ресурсних (ресурс, постачальник, IoT-пристрій, вхід, давач, показник тощо) та соціокомунікаційних (організація чи установа, зокрема, музей, категорія, тип, сутність, або архів, тип, документ, сутність тощо) мереж. Коректна організація СД міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж відповідно предметно-орієнтованого підходу уможливорює значне спрощення процедур аналітичного опрацювання та підвищення швидкості виконання пошукових та аналітичних запитів.

Дані зберігаються в спеціалізованих багатомірних СКБД на основі n -мірних кубів.

Інтегрованість. Вихідні дані щодо процесів у ресурсних мережах та колекцій даних соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста» екстрагуються з БД постачальників ресурсів, установ, організацій, ПАК, IoT-пристроїв, мобільних та веб-застосунків. Отримані дані валідуються, очищаються та фільтруються, нормалізуються та агрегуються (відбувається первинне

опрацювання та обчислення узагальнених та сумарних показників) і завантажуються до відповідних сховищ.

Часова прив'язка даних. Розміщені в сховищах дані щодо процесів, які протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, повинні мати однозначні часові мітки з прив'язкою до визначених часових періодів. Дані, вибрані з оперативних БД, накопичуються у СД у вигляді «історичних колекцій» відповідно до конкретного періоду часу. Зазвичай дані з міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж характеризуються високою динамічністю та швидкоплинністю перебігу процесів, що дозволяє аналізувати тенденції у процесах їх функціонування.

Незмінюваність. Потрапивши в певну «історичну колекцію» сховищ, дані щодо міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж не можуть змінитись та корегуватись.

В роботі [201] формалізований опис СД ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» подається у вигляді:

$$DW = \langle NR, DB, RF, rm, RM, func \rangle, \quad (2.1)$$

де NR – множина мереж (ресурсних та соціокомунікаційних),

DB – множина відношень та їх схем і обмежень, які містять відомості із вхідних БД (БД установ та організацій, зокрема постачальників ресурсів, музеїв, архівів, ЗМІ, тощо),

RF – схема множини відношень фактів rf ,

RM – схема множини відношень метаданих rm ,

$func$ – множина процедур прийняття рішень.

Отримання нових знань полягає у видобуванні даних з колекцій СД шляхом реалізації функцій $func$ на відношенні фактів rf із врахуванням вимог, які безпосередньо формуються відповідно до потреб користувачів. Зв'язки між множинами rf та DB утворюють гіперкуби даних, вимірами яких є множини відношень RF СД міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж.

Врахування особливостей застосування інструментів інтелектуального аналітичного опрацювання в процесі проектування СД для ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» відкриває можливості для точнішого розкриття та подання особливостей даних зібраних у відповідних колекціях [202].

2.2 Інформаційна технологія багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

Одним з ключових компонентів супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста» є організації СД та ІТ багатовимірного аналізу даних – OLAP (оперативного аналітичного опрацювання даних). Використання цієї технології в рамках інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах надає можливість детального аналізу поточного стану матеріальних та соціокомунікаційних ресурсів міста, а також виявлення тенденцій їх зміни та станів шляхом зіставлення даних, що належать до різних часових періодів та різних за походженням колекцій.

В OLAP системах «розумного міста» зазвичай використовуються процеси узагальнення деталізованих колекцій даних, зібраних у ресурсних та соціокомунікаційних мережах, що дозволяє отримувати нові знання з консолідованих за різними аспектами аналізу, взаємопов'язаних інформаційних наборів [203]. Вихідними наборами даних для аналітичного опрацювання за допомогою OLAP відомостей щодо міських ресурсних мереж є показники витрат спожитих ресурсів, зокрема води, газу, електроенергії та тепла, а для соціокомунікаційних мереж – великий перелік інформаційних сутностей, зокрема архівних документів, музейних експонатів, публікацій в ЗМІ, тощо.

В основі ІТ OLAP знаходиться багатовимірна модель даних, основними базовими сутностями якої є: гіперкуб даних rel , вимір D , атрибут A , комірка X , значення $rel(D,A)$ [203]. Приклад гіперкуба даних для міських ресурсних мереж подано на рисунку 2.3.

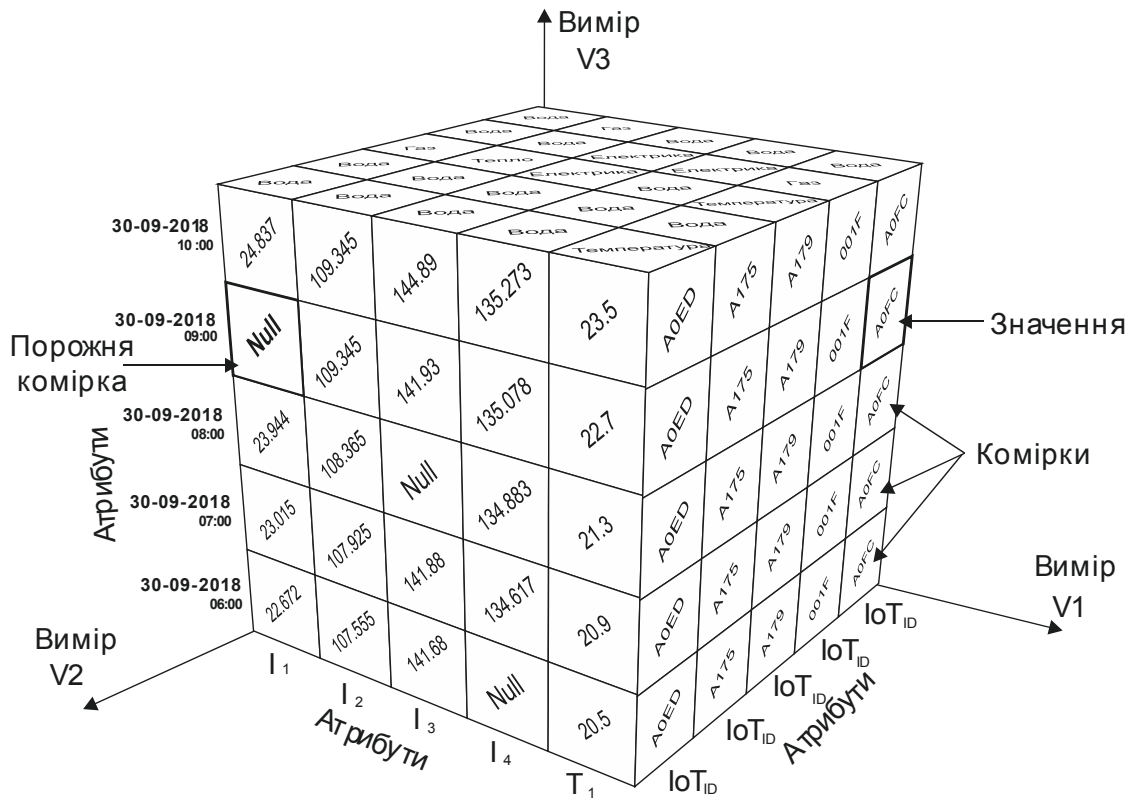


Рисунок 2.3 – Гіперкуб даних міських ресурсних мереж

Гіперкуб даних, будучи впорядкованим набором комірок, містить один або більше вимірів. Кожна з комірок гіперкуба визначається тільки одним унікальним набором значень атрибутів – вимірів. Комірка може містити фактичне значення, або вважатись порожньою містячи Null.

Множина атрибутів, що утворюють одну з граней гіперкуба, називається виміром. Для міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж важливими вимірами є, зокрема, часовий та географічний. Для часового виміру атрибутами є переліки років, кварталів, місяців, днів, годин, хвилин, секунд. Для географічного виміру атрибутами є перелік адміністративно-територіальних об'єктів: областей, районів, населених пунктів, мікрорайонів вулиць, будинків, квартир, тощо. Приклад гіперкуба даних для міських соціокомунікаційних мереж подано на рисунку 2.4.

Для отримання доступу до даних в гіперкубі користувач вибирає одну або декілька комірок вказуючи (фіксує) відповідні значення вимірів. Множина зафіксованих значень вимірів називається множиною фіксованих атрибутів.

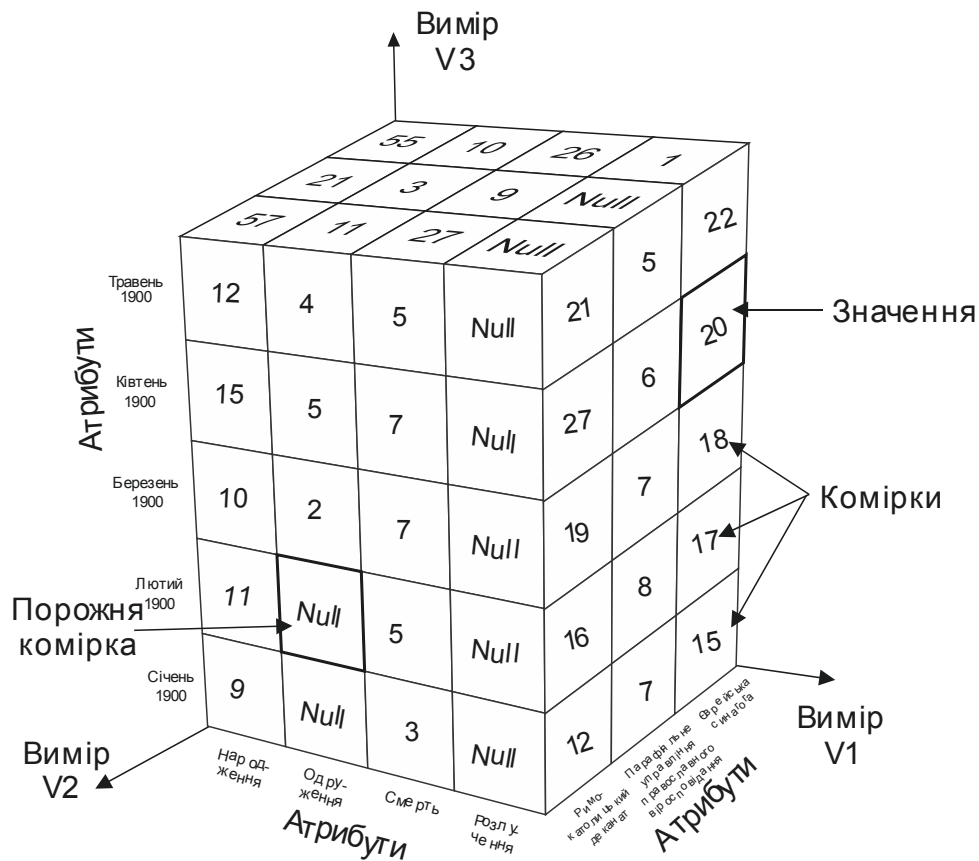


Рисунок 2.4 – Гіперкуб даних міських соціокомунікаційних мереж

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 ІМ (див. рисунок 2.5).

Множина категорій та атрибутів RA , що використовуються для опису процесів у ресурсних мережах «розумного міста», класифікована наступним чином:

$$RA = \langle RA_{net} \cup RA_{GEO} \cup RA_{IoT} \cup RA_{sens} \cup RA_{val} \cup RA_{usr} \cup RA_{prov} \rangle \quad (2.2)$$

де $RA_{net} = \{RA_{net}^R\}$, $R = \{Water, Hot, Electro, Gas\}$ – атрибути кожної окремо взятої міської ресурсної мережі, зокрема мережі водопостачання (*Water*), тепломережі – (*Hot*), електромережі (*Electro*) та мережі газопостачання (*Gas*);

RA_{GEO} – категорія геолокаційних атрибутів;

RA_{IoT} – категорія атрибутів характеристик та властивостей ІоТ-пристроїв;

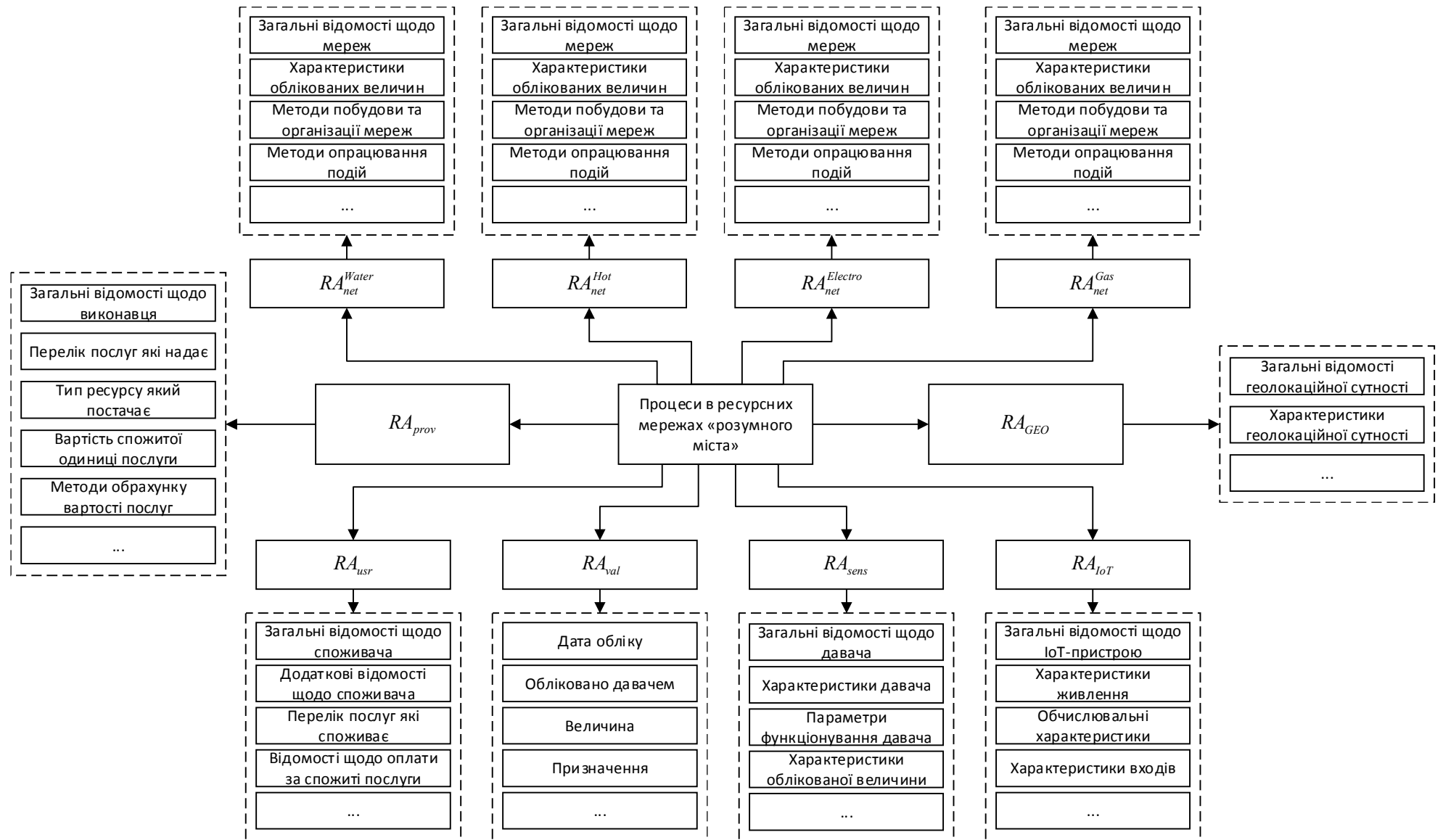


Рисунок 2.5 – Атрибути гіперкуба даних для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних мережах

RA_{sens} – категорія атрибутів для характеристик та властивостей давачів, лічильників та витратомірів інтегрованих на множині RA_{net} ;

RA_{val} – категорія атрибутів 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.

У багатьох випадках атрибути в різних категорій, які використовуються для опису процесів у міських ресурсних мережах будучи синонімами мають однаковий зміст. Повну множину атрибутів можна розділити на наступні підкатегорії:

Net – відомості щодо ресурсних мереж;

Quant – характеристики облікованих величин;

Geopoint – геолокаційний пункт прив'язки;

IoT – відомості щодо IoT-пристроїв;

Sensor – відомості щодо давачів;

User – відомості щодо споживача;

Provider – відомості щодо виконавців послуг;

Use – відомості щодо споживання послуг.

Багатовимірний аналіз даних щодо процесів у міських соціокомунікаційних мережах, у свою чергу, передбачає дослідження та аналіз характеристик муніципальних соціокомунікаційних ресурсів, включаючи вибір множини атрибутів, що використовуються для параметризації ІМ (див. рисунок 2.6).

Множина категорій та атрибутів SA , що використовуються для опису процесів, що протікають у соціокомунікаційних мережах «розумного міста» подається у наступному виді:

$$SA = \langle SA_{org} \cup SA_{clases} \cup SA_{res} \cup SA_{GEO} \cup SA_{usr} \cup SA_{query} \rangle \quad (2.3)$$

де $SA_{org} = \{SA_{org}^S\}$, $S = \{Archives, Museum, Biblio, Governement, ZMI\}$ – атрибути для кожної виокремленої категорії соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста», зокрема йдеться про архіви (*Archives*), музеї – (*Museum*), бібліотеки (*Biblio*), урядові установи (*Governement*) та засоби масової інформації (*ZMI*);

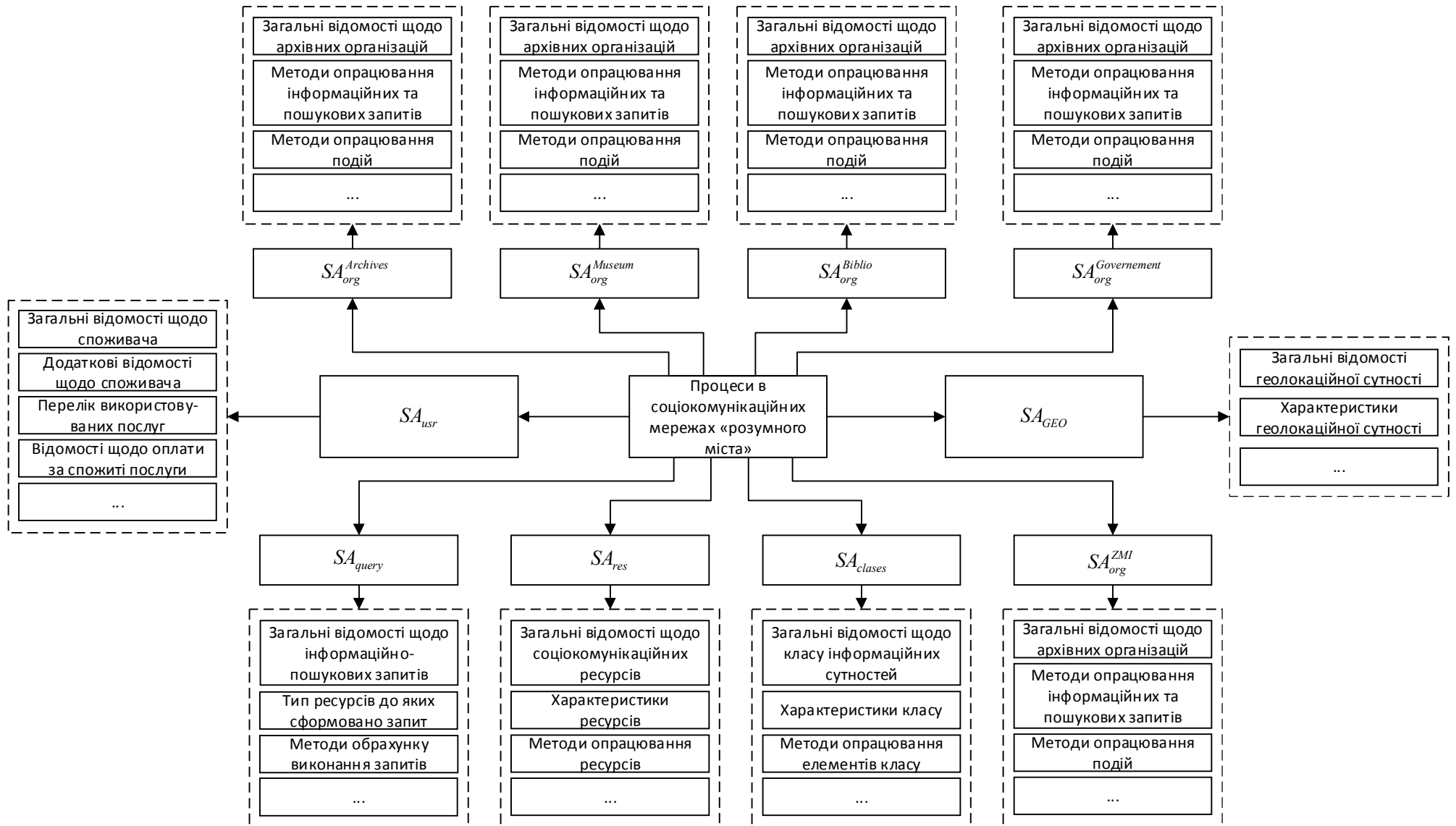


Рисунок 2.6 – Атрибути гіперкуба даних для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських соціокомунікаційних мережах

SA_{clases} – категорія атрибутів 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».

Значна кількість атрибутів що використовуються для опису сутностей у соціокомунікаційних мережах «розумного міста» є синонімами та мають однаковий зміст. Вказані атрибути можна розділити на наступні підкатегорії:

Fonds – характеристики соціокомунікаційних фондів;

Src – відомості щодо соціокомунікаційних ресурсів;

Docs – характеристики результатів виконання запитів;

Geopoint – геолокаційна точка прив'язки;

User – відомості щодо споживача;

Provider – відомості щодо виконавців послуг;

Use – відомості щодо споживання послуг;

ІМ процесу надання послуг засобами міських ресурсних мереж подамо у вигляді сукупності інформаційних параметрів (див. рисунок 2.7).

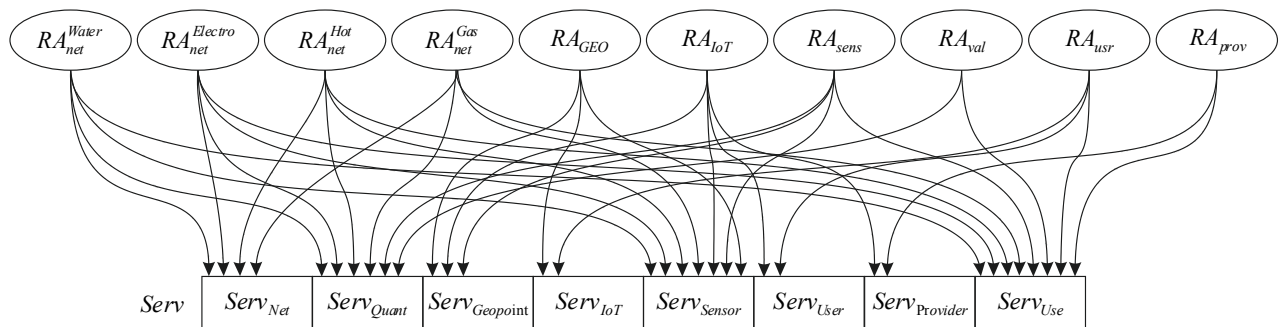


Рисунок 2.7 – Агрегація атрибутів процесу надання послуг міськими ресурсними мережами

Кожен з атрибутів для окремої категорії, $Serv = (Serv_{Net}, Serv_{Quant}, Serv_{Geopoint}, Serv_{IoT}, Serv_{Sensor}, Serv_{User}, Serv_{Provider}, Serv_{Use})$ подає відповідну характеристику процесів у ресурсних мережах, а в сукупності вони характеризують процеси надання послуг множиною міських ресурсних мереж.

ІМ процесу надання інформаційно-сервісних послуг у міських соціокомунікаційних мережах подамо сукупністю параметрів (див. рисунок 2.8).

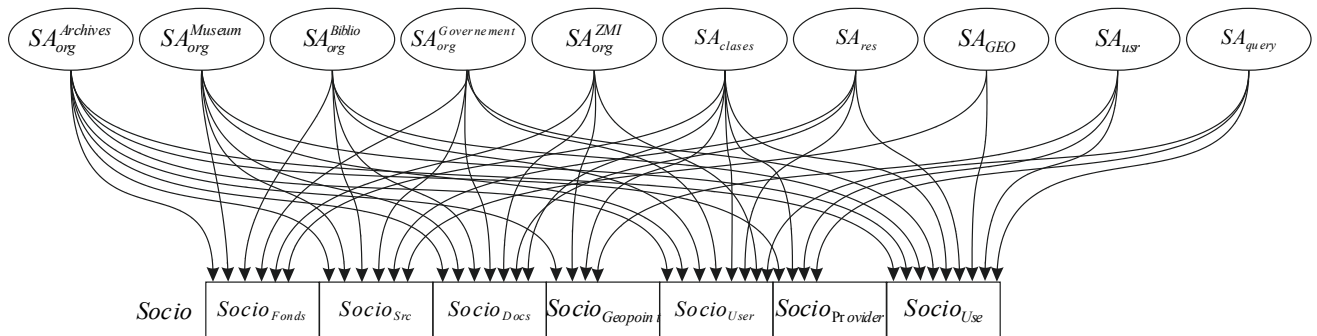


Рисунок 2.8 – Агрегація атрибутів процесу надання інформаційно-сервісних послуг у міських соціокомунікаційних мережах

Кожен з атрибутів для окремої категорії, $Socio = (Socio_{Fonds}, Socio_{Src}, Socio_{Docs}, Socio_{Geopoint}, Socio_{User}, Socio_{Provider}, Socio_{Use})$ надає опис відповідної характеристики процесів, що протікають у соціокомунікаційних мережах, а в сукупності – повно характеризують процеси надання послуг у соціокомунікаційних мережах «розумного міста».

Відібрані з метою опису процесів атрибути використано для побудови багатовимірної інформаційної моделі міських ресурсних мереж, яку подано у вигляді гіперкубу даних:

$$S_{Prov}^{Res} (Dim^{Res}, Attr^{Res}) \quad (2.4)$$

де Dim^{Res} – множина вимірів гіперкуба;

S_{Prov}^{Res} – послуга, що надається множиною виконавців $Prov^{Res} = \{Prov_k^{Res}\}, k = \overline{1, n}$ з використанням множини міських ресурсних мереж $R_j, j = \overline{1, m}$, зокрема води, тепла, електроенергії та газу;

$Attr_{Dim_i^{Res}}^{Res} = \{Attr_{1_i}^{Res}, Attr_{2_i}^{Res}, \dots, Attr_{n_i}^{Res}\}, i = 1, \dots, m$ – множина атрибутів, характерних для виміру Dim_i^{Res} ;

$Attr^{Res} = Attr_1^{Res} \cup Attr_2^{Res} \cup \dots \cup Attr_m^{Res}$ – множина атрибутів, характерних для гіперкуба;

$Dim^{Res} \subseteq Dim^{Res}$ – множина зафіксованих вимірів гіперкуба;

$Attr^{Res} \subseteq Attr^{Res}$ – множина зафіксованих атрибутів гіперкуба.

Позначимо $S_{Prov}^{Res}(Dim^{Res}, Attr^{Res})$, що використовується для подання опису підмножини гіперкуба даних $Prov^{Res}$, що ставиться у відповідність множині зафіксованих значень, для доступу до яких слід вказати множину зафіксованих вимірів $Dim^{Res} \subseteq Dim^{Res}$ та значень зафіксованих атрибутів $Attr^{Res} \subseteq Attr^{Res}$. Множину комірок, що відповідають зафіксованим атрибутам та вимірам, позначатимемо через $S^{Res}(Dim^{Res}, Attr^{Res})|_{S_{Prov}^{Res}} \subseteq S_{Prov}^{Res}$. Називатимемо ключем виміру атрибут, котрий однозначно задає кортеж (рядок) виміру гіперкуба. Подані вище та проаналізовані комплекси параметрів опису процесів у ресурсних мережах «розумного міста» дозволяють сформулювати наступні виміри багатовимірної моделі даних:

Dim_1^{Res} – дані щодо типів входів IoT-пристроїв, зокрема $Attr_{Dim_1^{Res}}^{Res} = \{Attr_{i_1}^{Res}, i = \overline{1, 3}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_1^{Res} , де $A_{1_1}^{Res}$ – назва типу вхідного сигналу, $A_{2_1}^{Res}$ – буква позначення, $A_{3_1}^{Res}$ – призначення входів.

Dim_2^{Res} – Дані щодо типів давачів, зокрема $Attr_{Dim_2^{Res}}^{Res} = \{Attr_{i_2}^{Res}, i = \overline{1, 8}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_2^{Res} , де $A_{1_2}^{Res}$ – назва типу лічильника, $A_{2_2}^{Res}$ – тип входу до якого може підключатись давач, $A_{3_2}^{Res}$ – дільник показів, $A_{4_2}^{Res}$ –

множник показів, $A_{5_2}^{\text{Res}}$ – зміщення показів, $A_{6_2}^{\text{Res}}$ – обчислювати витрати, $A_{7_2}^{\text{Res}}$ – одиниці виміру показників, $A_{8_2}^{\text{Res}}$ – ресурс для якого використовується.

Dim_3^{Res} – дані щодо типів IoT-пристроїв, зокрема $Attr_{Dim_3^{\text{Res}}}^{\text{Res}} = \{Attr_{i_3}^{\text{Res}}, i = \overline{1,7}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_3^{Res} , де $A_{1_3}^{\text{Res}}$ – назва типу IoT-пристрою, $A_{2_3}^{\text{Res}}$ – множина входів, $A_{3_3}^{\text{Res}}$ – спосіб тримання даних, $A_{4_3}^{\text{Res}}$ – створювати таблицю даних, $A_{5_3}^{\text{Res}}$ – операційний каталог для тимчасових та історичних файлів даних, $A_{6_3}^{\text{Res}}$ – початок назви тимчасових та історичних файлів даних, $A_{7_3}^{\text{Res}}$ – номер групи онлайн-команд.

Dim_4^{Res} – дані щодо встановлених IoT-пристроїв, зокрема $Attr_{Dim_4^{\text{Res}}}^{\text{Res}} = \{Attr_{i_4}^{\text{Res}}, i = \overline{1,16}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_4^{Res} , де $A_{1_4}^{\text{Res}}$ – назва встановленого IoT-пристрою, $A_{2_4}^{\text{Res}}$ – тип встановленого IoT-пристрою з множини Dim_3^{Res} , $A_{3_4}^{\text{Res}}$ – серійний номер виробника, $A_{4_4}^{\text{Res}}$ – тип призначення встановленого IoT-пристрою, зокрема груповий, індивідуальний, сервісний, тощо, $A_{5_4}^{\text{Res}}$ – населений пункт, $A_{6_4}^{\text{Res}}$ – мікрорайон, $A_{7_4}^{\text{Res}}$ – вулиця, $A_{8_4}^{\text{Res}}$ – ідентифікатор точки прив'язки ГІС (Геоінформаційна система), $A_{9_4}^{\text{Res}}$ – ідентифікатор відповідальної особи, $A_{10_4}^{\text{Res}}$ – № телефону відповідальної особи, $A_{11_4}^{\text{Res}}$ – висота над рівнем моря, $A_{12_4}^{\text{Res}}$ – кількість будинків, $A_{13_4}^{\text{Res}}$ – кількість під'їздів, $A_{14_4}^{\text{Res}}$ – кількість квартир, $A_{15_4}^{\text{Res}}$ – марка встановленої батареї, $A_{16_4}^{\text{Res}}$ – дата встановлення батареї.

Dim_5^{Res} – дані щодо давачів підключених до встановлених IoT-пристроїв, зокрема $Attr_{Dim_5^{\text{Res}}}^{\text{Res}} = \{Attr_{i_5}^{\text{Res}}, i = \overline{1,8}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_5^{Res} , де $A_{1_5}^{\text{Res}}$ – назва підключеного давача, $A_{2_5}^{\text{Res}}$ – тип давача з множини Dim_2^{Res} , $A_{3_5}^{\text{Res}}$ – серійний номер виробника, $A_{4_5}^{\text{Res}}$ – тип призначення встановленого давача, зокрема вузловий, будинковий, під'їзний, площадковий, квартирний, індивідуальний, тощо, $A_{5_5}^{\text{Res}}$ – ідентифікатор входу IoT-пристрою до якого

підключено давач, $A_{6_s}^{Res}$ – ідентифікатор ресурсної мережі R_j в яку інтегровано давач, $A_{7_s}^{Res}$ – ідентифікатор давача верхнього рівня, відповідно до ієрархічної структури ресурсної мережі, $A_{8_s}^{Res}$ – роль облікованої величини по відношенню до ресурсної мережі (генерація ресурсу, споживання ресурсу, комбінована).

Dim_6^{Res} – дані щодо індивідуальних споживачів послуг ресурсної мережі, зокрема $Attr_{Dim_6^{Res}}^{Res} = \{Attr_{i_6}^{Res}, i = \overline{1,8}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_6^{Res} , де $A_{1_6}^{Res}$ – прізвище, $A_{2_6}^{Res}$ – ім'я, $A_{3_6}^{Res}$ – по батькові, $A_{4_6}^{Res}$ – населений пункт, $A_{5_6}^{Res}$ – поштова адреса, $A_{6_6}^{Res}$ – форма власності, $A_{7_6}^{Res}$ – ідентифікаційний номер, $A_{8_6}^{Res}$ – номер телефону.

Dim_7^{Res} – дані щодо обліку показників давачів, зокрема $Attr_{Dim_7^{Res}}^{Res} = \{Attr_{i_7}^{Res}, i = \overline{1,4}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_7^{Res} , де $A_{1_7}^{Res}$ – дата, час обліку показника, $A_{2_7}^{Res}$ – ідентифікатор давача, що облікував показник з множини виміру Dim_6^{Res} , $A_{3_7}^{Res}$ – ідентифікатор виконавця послуг з множини виконавців $Prov^{Res}$, $A_{4_7}^{Res}$ – ідентифікатор ресурсної мережі з множини R .

Значення, поданих вище вимірів (атрибутів) уздовж кожної осі гіперкуба, ієрархічно об'єднуються в один, або декілька рівнів. Це дозволяє утворювати ієрархічні виміри для подальшого аналізу даних з метою їх агрегації, або деталізації (див. рисунок 2.9).

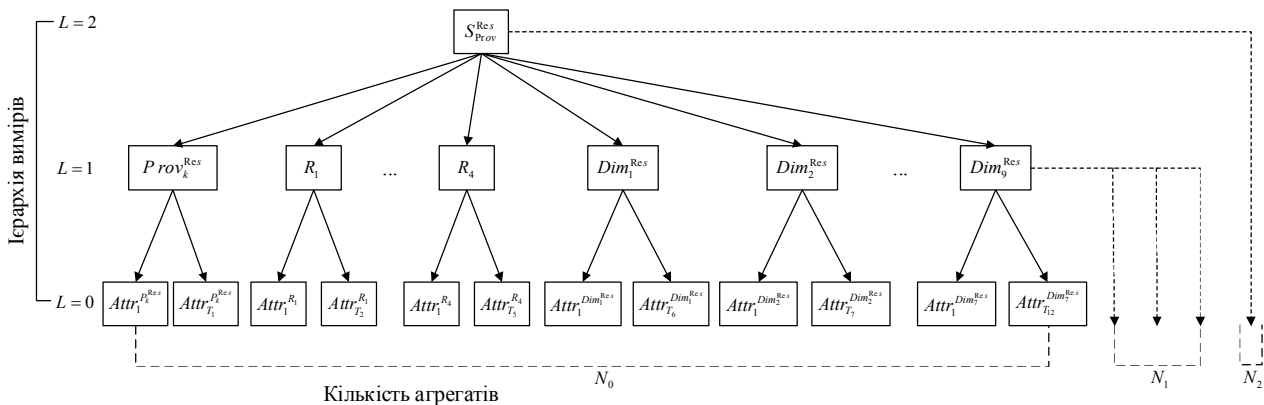


Рисунок 2.9 – Агрегація гіперкуба даних ресурсних мереж «розумного міста».

Одновимірне подання

Відібрані з метою опису процесів атрибути використано для побудови багатовимірної інформаційної моделі множини соціокомунікаційних мереж «розумного міста», подано у вигляді гіперкубу даних:

$$S_{Pr ov}^{Socio} (Dim^{Socio}, Attr^{Socio}) \quad (2.5)$$

де Dim^{Socio} – множина вимірів гіперкуба;

$S_{Pr ov}^{Socio}$ – послуга «розумного міста», що надається групою виконавців $Pr ov^{Socio} = \{Pr ov_k^{Socio}\}, k = \overline{1, t}$ з використанням ряду міських соціокомунікаційних ресурсів $F_j, j = \overline{1, r}$, зокрема архівів, музеїв, бібліотек, урядових установ та ЗМІ;

$$Attr_{Dim_i^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{1_i}^{Socio}, Attr_{2_i}^{Socio}, \dots, Attr_{n_i}^{Socio}\}, i = 1, \dots, m - \text{множина атрибутів,}$$

характерних для виміру Dim_i^{Socio} ;

$Attr^{Socio} = Attr_1^{Socio} \cup Attr_2^{Socio} \cup \dots \cup Attr_m^{Socio}$ – множина атрибутів, характерних для гіперкуба;

$$Dim^{*Socio} \subseteq Dim^{Socio} - \text{множина зафіксованих вимірів гіперкуба;}$$

$$Attr^{*Socio} \subseteq Attr^{Socio} - \text{множина зафіксованих атрибутів гіперкуба.}$$

Введемо позначення $S_{Pr ov}^{*Socio} (Dim^{*Socio}, Attr^{*Socio})$, для опису підмножини гіперкуба соціокомунікаційних даних $Pr ov^{Socio}$, що ставиться у відповідність множині зафіксованих значень, для доступу до яких слід вказати множину зафіксованих вимірів $Dim^{*Socio} \subseteq Dim^{Socio}$ та значень зафіксованих атрибутів $Attr^{*Socio} \subseteq Attr^{Socio}$. Множину комірок, що відповідають зафіксованим атрибутам та вимірам соціокомунікаційних даних, позначимо у вигляді $S_{Pr ov}^{*Socio} (Dim^{*Socio}, Attr^{*Socio}) | S_{Pr ov}^{*Socio} \subseteq S_{Pr ov}^{Socio}$. Називатимемо ключем виміру атрибут, котрий однозначно ідентифікує кортеж (рядок) виміру гіперкуба. Подані вище та проаналізовані комплекси параметрів опису та інформаційно-технологічного супроводу процесів у соціокомунікаційних мережах «розумного міста» дозволяють сформулювати наступні виміри багатовимірної моделі даних:

Dim_1^{Socio} – дані щодо організацій по надаванню сервісів на основі ресурсів соціокомунікаційних мереж «розумного міста» з множини $Pr ov^{Socio} = \{Pr ov_k^{Socio}\}, k = \overline{1, t}$, зокрема $Attr_{Dim_1^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_1}^{Socio}, i = \overline{1, 10}\}$ – множина атрибутів

виміру Dim_1^{Socio} , де $A_{1_1}^{Socio}$ – тип організації виконавця послуг, зокрема архіви, музеї, бібліотеки, урядові установи та ЗМІ; $A_{2_1}^{Socio}$ – назва організації виконавця послуг, $A_{3_1}^{Socio}$ – населений пункт, $A_{4_1}^{Socio}$ – форма власності, $A_{5_1}^{Socio}$ – мікрорайон, $A_{6_1}^{Socio}$ – вулиця, $A_{7_1}^{Socio}$ – вулиця, $A_{8_1}^{Socio}$ – ідентифікатор точки прив'язки ГІС, $A_{9_1}^{Socio}$ – ідентифікатор відповідальної особи, $A_{10_1}^{Socio}$ – № телефону відповідальної особи.

Dim_2^{Socio} – Дані щодо часових періодів, зокрема $Attr_{Dim_2^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_2}^{Socio}, i = 5\}$ – множина атрибутів виміру Dim_2^{Socio} , де $A_{1_2}^{Socio}$ – назва часового періоду, $A_{2_2}^{Socio}$ – дата початку часового періоду, $A_{3_2}^{Socio}$ – дата завершення часового періоду, $A_{4_2}^{Socio}$ – короткий стислий опис часового періоду, $A_{5_2}^{Socio}$ – батьківський часовий період.

Dim_3^{Socio} – Дані щодо класифікації фондоутворювачів, зокрема $Attr_{Dim_3^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_3}^{Socio}, i = 6\}$ – множина атрибутів виміру Dim_3^{Socio} , де $A_{1_3}^{Socio}$ – тип класифікації фондоутворювачів, $A_{2_3}^{Socio}$ – назва класу фондоутворювачів, $A_{3_3}^{Socio}$ – функціонально-цільове призначення (напрямок діяльності) класу фондоутворювачів, $A_{4_3}^{Socio}$ – короткий стислий опис класу фондоутворювачів, $A_{5_3}^{Socio}$ – батьківський клас, $A_{6_3}^{Socio}$ – ідентифікатор ГІС-сутності.

Dim_4^{Socio} – Дані щодо фондоутворювачів, зокрема $Attr_{Dim_4^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_4}^{Socio}, i = \overline{1,9}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_4^{Socio} , де $A_{1_4}^{Socio}$ – тип фондоутворювача, зокрема юридична чи фізична особа, $A_{2_4}^{Socio}$ – повна остання назва фондоутворювача (для організацій) або прізвище, ім'я та по батькові (для фізичних осіб), $A_{3_4}^{Socio}$ – функціонально-цільове призначення юридичної особи або значення фізичної особи в житті суспільства, $A_{4_4}^{Socio}$ – короткий стислий опис фондоутворювача, $A_{5_4}^{Socio}$ – дата заснування (для організацій) або народження (для фізичних осіб) фондоутворювача, $A_{6_4}^{Socio}$ – дата закриття (для організацій) або смерті (для фізичних осіб) фондоутворювача, $A_{7_4}^{Socio}$ – батьківський клас фондів з множини виміру Dim_3^{Socio} , $A_{8_4}^{Socio}$ – організація тримач фонду з множини $Prov^{Socio}$, $A_{9_4}^{Socio}$ – ідентифікатор ГІС-сутності.

Dim_5^{Socio} – дані щодо соціокомунікаційних фондів, зокрема $Attr_{Dim_5^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_5}^{Socio}, i = \overline{1,5}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_5^{Socio} , де $A_{i_5}^{Socio}$ – назва фонду, $A_{2_5}^{Socio}$ – ідентифікатор соціокомунікаційних послуг з множини Dim_1^{Socio} , $A_{3_5}^{Socio}$ – ідентифікатор фондоутворювача з множини Dim_4^{Socio} , $A_{4_5}^{Socio}$ – унікальні атрибути фонду, $A_{5_5}^{Socio}$ – ідентифікатор ГІС-сутності.

Dim_6^{Socio} – дані щодо систематизації сутностей в фондах, зокрема $Attr_{Dim_6^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_6}^{Socio}, i = \overline{1,6}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_6^{Socio} , де $A_{i_6}^{Socio}$ – назва категорії сутностей, $A_{2_6}^{Socio}$ – функціонально-цільове призначення категорії сутностей, $A_{3_6}^{Socio}$ – короткий стислий опис категорії сутностей, $A_{4_6}^{Socio}$ – батьківська категорія сутностей, $A_{5_6}^{Socio}$ – унікальні атрибути категорії сутностей, $A_{6_6}^{Socio}$ – ідентифікатор ГІС-сутності.

Dim_7^{Socio} – дані щодо типів інформаційних елементів для зберігання даних, зокрема $Attr_{Dim_7^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_7}^{Socio}, i = \overline{1,4}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_7^{Socio} , де $A_{i_7}^{Socio}$ – назва типу даних, зокрема поле БД, текстовий файл, бінарний файл, URL, тощо, $A_{2_7}^{Socio}$ – короткий стислий опис типу інформаційних елементів, $A_{3_7}^{Socio}$ – перелік атрибутів типу інформаційних елементів, $A_{4_7}^{Socio}$ – перелік характеристик типу інформаційних елементів.

Dim_8^{Socio} – дані щодо типів сутностей у фондах, зокрема $Attr_{Dim_8^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_8}^{Socio}, i = \overline{1,5}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_8^{Socio} , де $A_{i_8}^{Socio}$ – назва типу сутностей, зокрема архівний документ, музейний артефакт, бібліотечна книга, газетна стаття, тощо, $A_{2_8}^{Socio}$ – короткий стислий опис типу сутностей, $A_{3_8}^{Socio}$ – перелік атрибутів типу сутностей, $A_{4_8}^{Socio}$ – перелік характеристик типу сутностей, $A_{5_8}^{Socio}$ – перелік інформаційних елементів, що використовуються для зберігання даних з множини виміру Dim_7^{Socio} .

Dim_9^{Socio} – дані щодо сутностей у фондах, зокрема $Attr_{Dim_9^{Socio}}^{Socio} = \{Attr_{i_9}^{Socio}, i = \overline{1,7}\}$ – множина атрибутів виміру Dim_9^{Socio} , де $A_{i_9}^{Socio}$ – назва сутності, $A_{2_9}^{Socio}$ – часовий період до якого належить сутність з множини виміру

Dim_2^{Socio} , $A_{3_9}^{Socio}$ – соціокомунікаційний фонд з множини Dim_5^{Socio} , $A_{4_9}^{Socio}$ – клас сутностей з множини Dim_6^{Socio} , $A_{5_9}^{Socio}$ – тип сутності фондів з множини Dim_8^{Socio} , задіяний для зберігання даних, $A_{6_9}^{Socio}$ – ідентифікатор ГПС-сутності, $A_{7_9}^{Socio}$ – вміст інформаційної сутності, або ідентифікатор ресурсу.

Значення, розглянутих вище вимірів (атрибутів) уздовж кожної осі гіперкуба, ієрархічно об'єднуються в один, або декілька рівнів в залежності від виміру. За рахунок цього утворюються ієрархічні виміри з метою подальшого аналізу даних шляхом їх агрегації, або деталізації (див. рисунок 2.10).

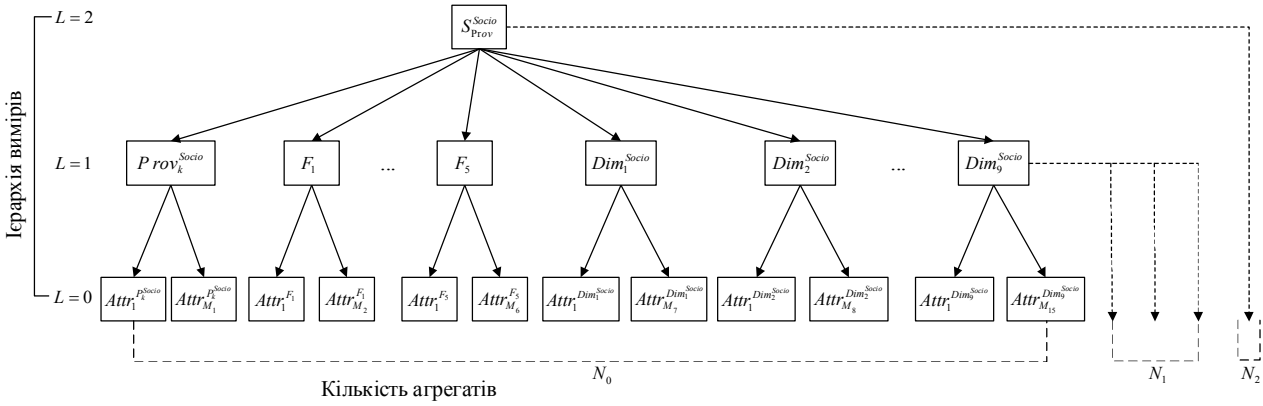


Рисунок 2.10 – Агрегація гіперкуба даних соціокомунікаційних мереж «розумного міста». Одновимірне подання

Агрегація даних OLAP-кубів ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» є процесом отримання нових агрегатів (значень), відповідних до атрибутів певного рівня L на основі значень нижчого рівня $L-1$. Такими вимірами є осі ієрархічних вимірів, зокрема для ресурсних мереж $Prov_i^{Res}$, R_j та Dim_k^{Res} та для соціокомунікаційних мереж $Prov_i^{Socio}$, F_j та Dim_k^{Socio} , що містять початкові атрибути нижчого ієрархічного рівня ($L=0$) та можуть доповнюватись атрибутами вищих ієрархічних рівнів з $L=1$ [204], [205]. Для отримання потрібних підмножин ресурсних комірок $S_{Prov}^{Res'} \subseteq S_{Prov}^{Res}$ або соціокомунікаційних комірок $S_{Prov}^{Socio'} \subseteq S_{Prov}^{Socio}$ з метою відсікання «непотрібних» значень шляхом послідовної фіксації атрибутів користуємось операцією зрізу.

2.3 Аналіз гіперкубів даних міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж

Аналіз гіперкубів даних ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» здійснюється не за всіма залежними вимірами одночасово, а вибірка даних виконується для конкретних значень фіксованого набору вимірів. При цьому залишаються незадіяними певна кількість вимірів, за якими відбуватиметься подальший аналіз для здійснення якого, окрім операції зрізу, використовуватимуться такі операції багатовимірного аналізу даних, як деталізація, згортка, об'єднання та ін.

Наприклад, для отримання інформації щодо використання послуг, що надаються у міських ресурсних мережах за фактичною адресою слід виконати операцію зрізу із значеннями вимірів «Послуги ресурсних мереж», «Показники встановлених давачів», «Дата/Час».

Проектуючи гіперкуб даних з метою формування прототипу відповідної інформаційної системи задаємо для ресурсних мереж наступні схеми ієрархій:

- вимір «Локація» – *«Область – Район – Населений пункт – Мікрорайон – Вулиця – Будинок – Під'їзд – Поверх – Номер квартири»*;
- вимір «Дата/Час» – *«Рік – Квартал – Місяць – Тиждень – День – Період доби – Година»*;
- вимір «Послуги ресурсних мереж» – *«Категорія послуг – Назва послуги»*.

На рисунку В.1 (див. додаток В) подано:

1. Зріз даних (фіксація виміру «Типи входів»).
2. Зріз даних (фіксація виміру «Типи IoT-пристроїв»).
3. Зріз даних (фіксація вимірів «Типи входів» та «Типи IoT-пристроїв»).
4. Зріз даних (фіксація виміру «Типи лічильників та давачів»).
5. Зріз даних (фіксація вимірів «Типи входів» та «Типи лічильників та давачів»).
6. Зріз даних (фіксація виміру «Локація»).
7. Зріз даних (фіксація виміру «Послуги ресурсних мереж»).

8. Зріз даних (фіксація вимірів «Локація» та «Послуги ресурсних мереж»).

9. Агрегація даних вимірів «Локація», «Послуги ресурсних мереж» та «Дата/Час».

10. Зріз даних (фіксація виміру «Фізичні IoT-пристрої»)

11. Зріз даних (фіксація вимірів «Фізичні IoT-пристрої» та «Типи входів»).

12. Агрегація даних вимірів «Фізичні IoT-пристрої», «Типи входів» та «№ входу».

13. Агрегація даних (сумування даних по всіх вимірах).

Для соціокомунікаційних мереж, в свою чергу, задаємо наступні схеми ієрархій:

– вимір «Локація» – *«Область – Район – Населений пункт – Мікрорайон – Вулиця – Будинок – Під'їзд – Поверх – Номер квартири»;*

– вимір «Дата/Час» – *«Історичний період – Рік – Квартал – Місяць – Тиждень – День – Період доби – Година»;*

– вимір «Послуги соціокомунікаційних мереж» – *«Категорія послуг – Назва послуги».*

На рисунку В.2 (див. додаток В) подано:

1. Зріз даних (фіксація виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг»).

2. Зріз даних (фіксація ієрархії виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг», підвимір «Архіви»).

3. Зріз даних (фіксація ієрархії виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг», підвимір «Музеї»).

4. Зріз даних (фіксація ієрархії виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг» підвимір «Бібліотеки»).

5. Зріз даних (фіксація ієрархії виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг» підвимір «Урядові установи»).

6. Зріз даних (фіксація ієрархії виміру «Виконавці соціокомунікаційних послуг» підвимір «ЗМІ»).

7. Зріз даних (фіксація виміру «Інформаційні елементи»).

8. Зріз даних (фіксація виміру «Класифікація фондоутворювачів»).

9. Зріз даних (фіксація виміру «Локація»).

10. Зріз даних (фіксація вимірів «Виконавці соціокомунікаційних послуг», підвимір «Архіви» та «Класифікація фондоутворювачів»).

11. Зріз даних (фіксація виміру «Типи сутностей у фондах», підвимір «Документи тривалого строку зберігання»).

12. Зріз даних (фіксація вимірів «Номери справ» та елемент виміру «Фонди»).

13. Зріз даних (фіксація вимірів «Типи сутностей у фондах», підвимір «Документи тривалого строку зберігання» та «Номери справ»).

14. Агрегація даних вимірів «Типи сутностей у фондах», підвимір «Документи тривалого строку зберігання», «Дані щодо систематизації сутностей в фондах», підвимір «Справи» та «Дата/Час».

15. Агрегація даних (сумування даних по всіх вимірах).

На етапах первинного опрацювання даних слід обов'язково враховувати вимоги щодо їх швидкості та якості опрацювання.

Для міських ресурсних мереж підготовка даних зібраних за допомогою інтегрованих в мережі давачів відбувається з використанням інтегрованих в IoT-пристрої (IT_{IoT}) засобів IT_{FC} . Для соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста» підготовка даних розпочинається з скоординованого відбору даних у міських соціокомунікаційних джерелах, якими зокрема є бібліотеки, музеї, архіви, ЗМІ та ін. Частина операцій реалізовується в розподіленому а частина – в централізованому режимі. Зокрема, операції підтримки та зберігання загальних описових даних реалізуються централізовано.

2.4 Прототипи сховища даних на основі гіперкубів для ресурсних та соціокомунікаційних мереж

Слід зауважити, що структури СД для ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста» реалізовані за принципами архітектури шини (англ. DataWarehouse Bus, BUS) [206], запропонованої Ральфом Кімболлом (Ralph Kimball) [207]. Фізично СД для ресурсних мереж реалізоване на основі комбінованої ієрархічної моделі (див. рисунок 2.11).

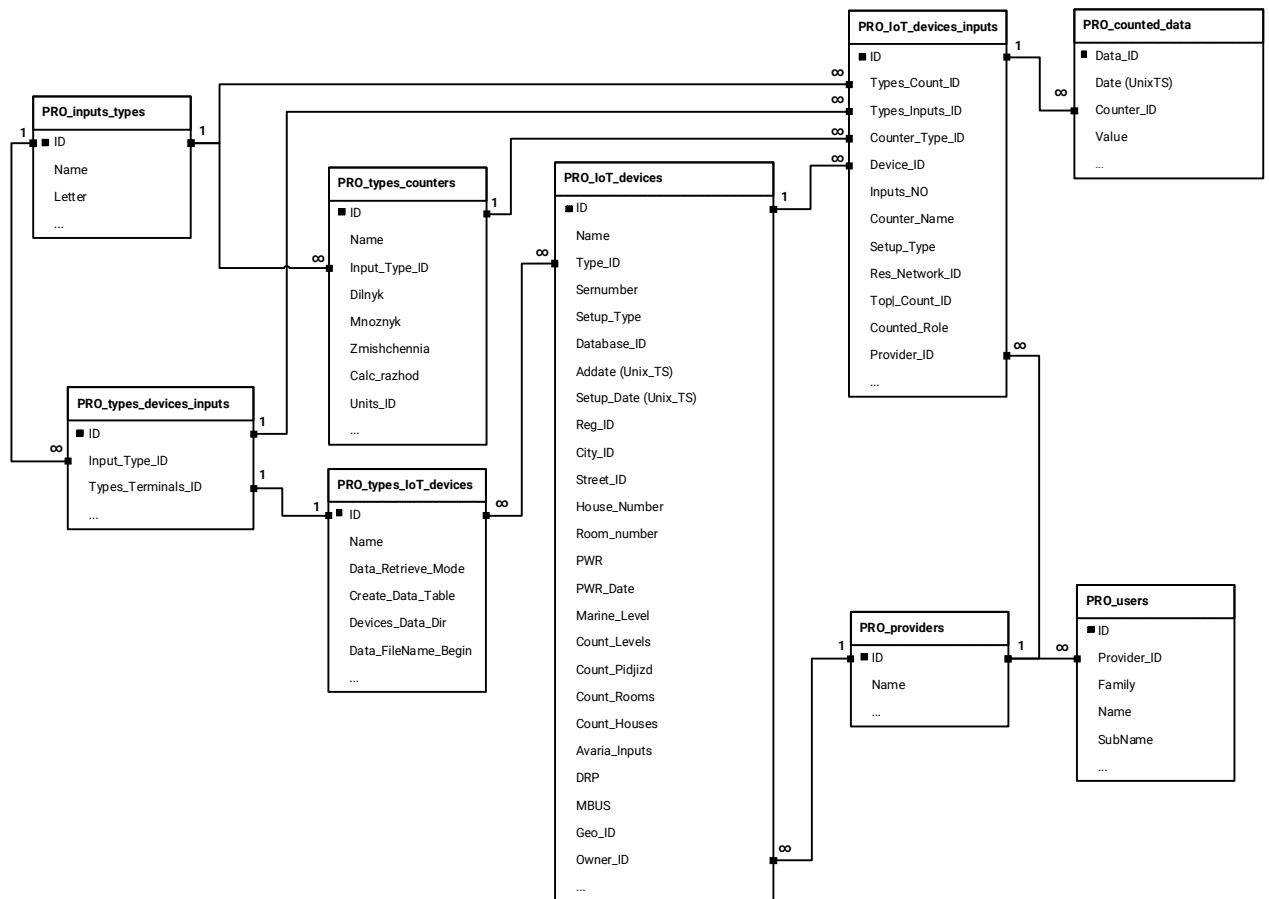


Рисунок 2.11 – Прототип СД для зберігання даних щодо міських ресурсних мереж

Подана модель СД з допомогою багатозв'язної схеми, у центрі якої знаходиться основна таблиця з даними щодо інтегрованих в міське середовище IoT-пристроїв. Відомості щодо типів входів, типів IoT-пристроїв, типів давачів, виконавців та споживачів послуг, встановлених лічильників та облікованих величин зберігаються в таблицях вимірів.

Фізично СД соціокомунікаційних ресурсів «розумного міста» реалізоване на базі комбінованої ієрархічної моделі (див. рисунок 2.12), в правій частині якої знаходиться основна таблиця з даними щодо сутностей, які зберігаються у відповідних фондах. Відомості щодо організацій, які надають соціокомунікаційні послуги, часових періодів, фондоутворювачів та їх класифікації, соціокомунікаційних фондів, систематизації сутностей у фондах, типів елементів для зберігання даних та типів сутностей у фондах зберігаються в таблицях вимірів.

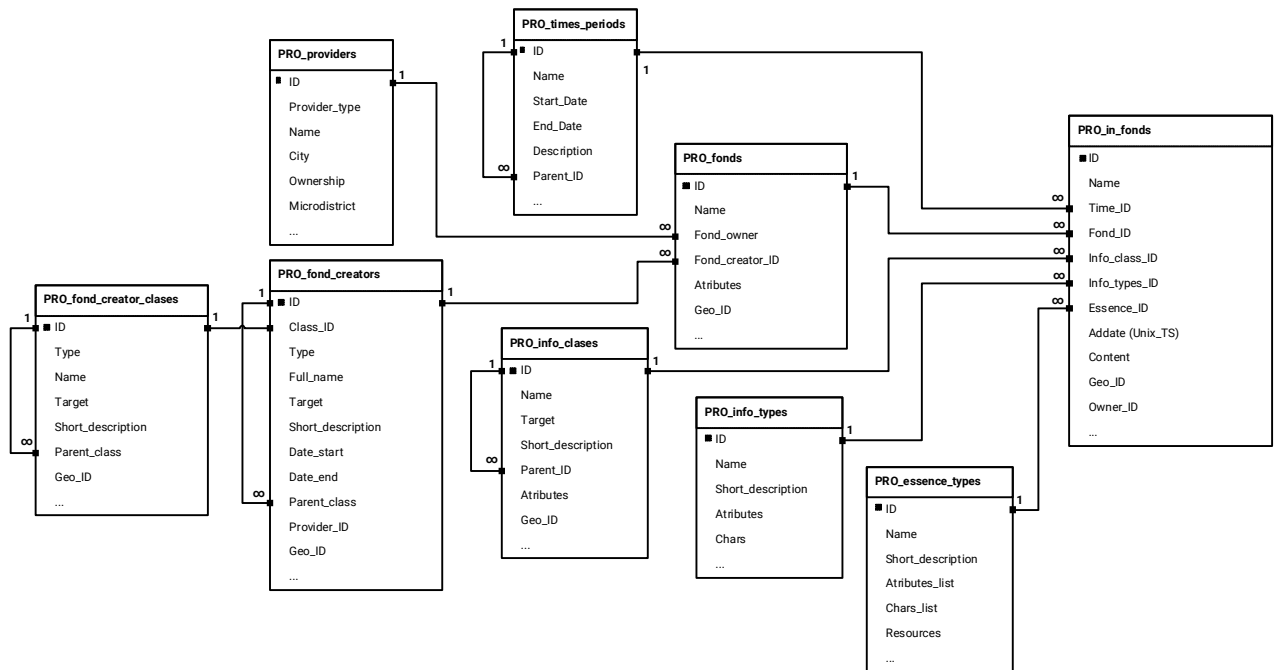


Рисунок 2.12 – Прототип СД для зберігання даних щодо міських соціокомунікаційних ресурсів

Сформовані таким чином СД слугують джерелами для багатовимірних БД щодо функціонування ресурсних та соціокомунікаційних мереж «розумного міста», є простороворозподіленими та містять інформацію щодо окремих транзакцій та сумарних даних, поданих за допомогою відповідної вітрини даних [208].

2.5 Нормалізація БД ресурсних та соціокомунікаційних мереж при їх імпорті до сховищ даних

На даний час розроблені, впроваджені та масово використовуються чисельні інформаційно-технологічні застосунки на основі реляційних БД, які можуть ефективно інтегруватись в проектах «розумних міст». Різноманітність та неоднорідність логічних і фізичних характеристик нагромаджених колекцій міських даних ускладнює реалізацію інтеграційних процесів генеруючи додаткові витрати на процедури попередньої підготовки, структурування та узгодження існуючих БД, що в свою чергу спричиняє затримки процесів розроблення нових застосунків, водночас знижуючи їх надійність та гнучкість.

Для формування максимально повних переліків характеристик та властивостей історично накопичених міських даних в процесі їх інтеграції в ІТР «розумних міст» доцільно використовувати абстрактні моделі даних [209]. Одним з найпопулярніших у цьому напрямі є формалізми реляційного підходу, які обумовлюють точні математичні трактування та дозволяють враховувати системи залежностей даних при описі базових властивостей даних в найрізноманітніших проблемних областях. Зокрема це стосується нормальних форм, як критеріїв якості проектних рішень при дії обмежень, які залежності даних накладають на реалізацію процедур маніпулювання даними [210]–[212]. Функціональні залежності даних можуть бути ефективно поданими засобами булевої алгебри [213]. На даний час добре опрацьовані та досліджені засоби маніпулювання булевими функціями водночас потребують додаткових напрацювань програмно-алгоритмічні засоби автоматизації процесів побудови повних, несуперечливих та надійних накопичених реляційних колекцій міських даних.

При опрацюванні булевого еквівалента системи функціональних залежностей для предметної області «розумного міста» використовується математичний апарат булевої алгебри описаний в роботі А. А. Стогнія та В. В. Пасічника [214]. При цьому використано подані в роботі [2] змінні та функції в середовищі реалізації двозначної алгебри логіки, елементи теорії про істотні та фіктивні змінні в булевих функціях подані в роботі [3], множини замкнених класів подані в роботі [13] та мінімальна множина замкнених класів, що достатня для повної характеристики елементарних булевих функцій, подана в роботі [14]. На рисунку 2.13 подано узагальнений алгоритм нормалізації реляційних БД в процесах інтеграції даних для проектів «розумних міст». Основою слугує метод, що реалізується як процедура процесів поданих в [215]. Розпочинається робота алгоритму із завантаження архівної копії функціонуючої БД, котра містить відомості щодо описів фрагментів певних частин міського буття (Блок 2), здійснюється перевірка коректності завантажених даних (Блок 3), проводиться аналіз структури та визначення множини поданих в ній концептів $O_k, k = 1, n$ (Блок 4).

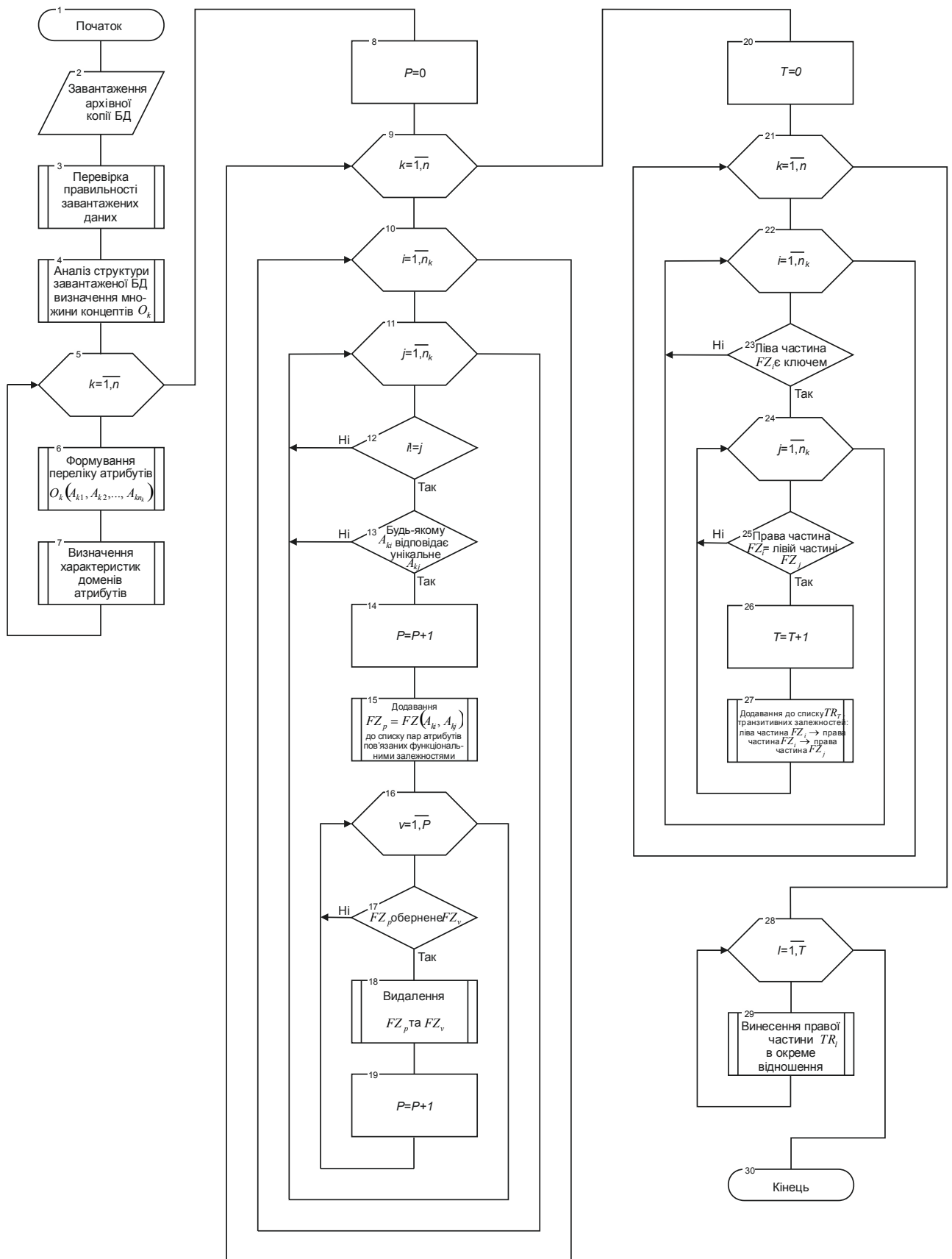


Рисунок 2.13 – Узагальнений алгоритм нормалізації БД в процесах інтеграції даних для проектів «розумних міст»

Для кожного з концептів сформованої множини (Блок 5) визначається множина атрибутів (3.1) $O_k(A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn_k}), n_k = 1, m_k$ (Блок 6) та здійснюється визначення характеристик їх доменів (Блок 7).

На початку вважається, що кількість функціональних залежностей $P = 0$ (Блок 8). Наступні три цикли (Блоки 9-11) використовуються для перебору всіх концептів та атрибутів $O_k(A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn_k}), n_k = 1, m_k$. Умова в блоці 12 використовується з метою уникнення автоперевірки атрибутів. Якщо будь-якому A_{ki} відповідає унікальне A_{kj} (Блок 13) то відбуваються дії 14 і 15 для додавання до списку нової функціональної залежності та цикл позначений блоком 16 для пошуку обернених функціональних залежностей з метою їх подальшого видалення.

Блоки 20-27 використовуються для пошуку та формування множини транзитивних залежностей TR . Завершальні блоки 28 та 29 використовуються для винесення правих частин транзитивних залежностей в окреме відношення.

Після реалізації процедури нормалізації реляційних БД, в яких містяться відомості з міських колекцій даних, накопичена в них інформація проходить етап інтеграції та підготовки до використання в проектах «розумних міст», зокрема у процесах розроблення муніципальних БД та СД що подаються у вигляді існуючих, або нових інформаційних вимірів.

2.6 Етапи опрацювання баз даних в процесі їх імпорту в сховища даних «розумного міста»

Етапи опрацювання БД під час їх імпорту в СД «розумного міста» подано у вигляді діаграми діяльності (див. рисунок 2.14).

Крок 1. Формування системи залежностей та нормалізація реляційних БД предметної області на основі архівної копії.

Крок 2. Побудова булевого еквівалента системи функціональних залежностей для предметної області «розумного міста» $f(x)$.

Крок 3. Визначення мінімального покриття булевої функції $f(x)$.

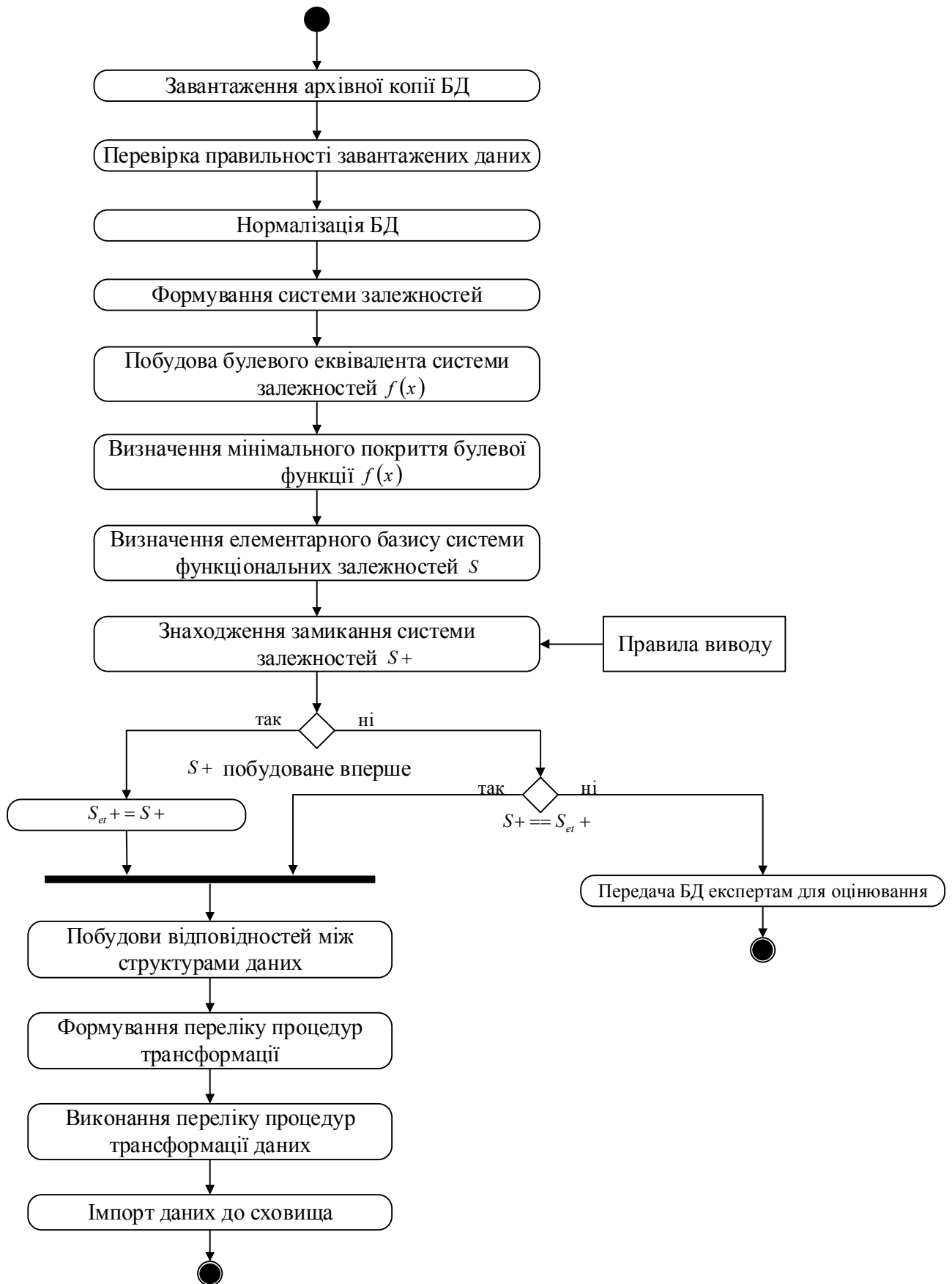


Рисунок 2.14 – Діаграма діяльності процесів опрацювання БД під час їх імпорту в СД «розумного міста»

Крок 4. Визначення елементарного базису системи функціональних залежностей S на основі мінімального покриття для булевої функції $f(x)$.

Крок 5. Побудова замикання системи функціональних залежностей $S+$ на основі повної та надійної множини правил виводу.

Крок 6. У випадку, коли замикання системи залежностей $S+$ побудоване вперше, то зберігаємо його в якості еталонного $S_{et}+$ і переходимо до кроку 8.

Крок 7. Порівнюємо отримане замикання $S+$ з попередньо-збереженим еталонним $S_{et}+$. Якщо воно співпадає з еталоном, то виконуємо наступні кроки. Якщо ні, то завершуємо опрацювання та передаємо проект схеми реляційної БД для оцінювання експертами з метою приведення у відповідність до еталону.

Крок 8. Реалізуємо процедури встановлення відповідностей між структурами даних експортованої БД та використовуваними в інформаційній системі «розумного міста» еталонними структурами даних.

Крок 9. Формуємо процедури трансформації необхідні при імпорті даних до відповідних сховищ.

Висновки до розділу 2

1. Сформовано та проаналізовано базові характеристики сховища даних, в якому подаються відомості щодо міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж.

2. Вперше виконано аналіз та побудову прототипів гіперкубів даних щодо міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж, на основі якого проведено моделювання структури сховища даних.

3. Проведено класифікацію та параметризацію множини категорій та атрибутів для опису процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, що дозволило вперше з використанням ІТ OLAP на основі гіперкубів даних розробити інформаційну технологію комплексного багатовимірного аналізу даних, що характеризують перебіг процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах міста.

4. Розроблено моделі міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж які, на відміну від відомих, враховують багатокomпонентність атрибутів мереж.

5. На основі проведеного системного аналізу ключових етапів нормалізації існуючих колекцій міських даних розроблено узагальнений алгоритм нормалізації реляційних БД при їх інтеграції в проектах «розумних міст». Розроблено діаграму діяльності процесів опрацювання реляційних БД під час їх імпорту в СД «розумного міста».

РОЗДІЛ 3. КОМПОНЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

3.1 Метод опрацювання подій в міських ресурсних мережах

Постачання ресурсів у мережах «розумних міст» зазвичай передбачають використання певної множини ресурсних мереж. Зокрема, в Тернополі розгорнуті ресурсні мережі постачання води, тепла, газу та електроенергії. В кожній із зазначених ресурсних мереж (РМ) на даний час функціонує лише один постачальник (провайдер) послуг. Методи супроводу процесів у цих міських ресурсних мережах зорієнтовані виключно на функціонування в умовах, коли ресурсну мережу обслуговує один постачальник послуг. Водночас відповідно до Закону України про житлово-комунальні послуги [216] та Закону України про захист економічної конкуренції [217] в короткотривалій перспективі кількість постачальників (провайдерів) житлово-комунальних послуг та операторів ресурсних мереж буде збільшуватись. Тому актуальним є розроблення методу, котрий би дозволяв опрацьовувати події в умовах функціонування множини мереж постачання ресурсів, на якій працює певна група постачальників послуг. При цьому обов'язково слід враховувати різнотипову природу міських мережевих ресурсів. Метод повинен передбачати можливість оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж і формування ефективних рекомендацій щодо взаємодії з групами постачальників відповідних послуг.

Модель даних «Сутність-зв'язок» бази даних ресурсних мереж «розумного міста» подана на рисунку 3.1. Таким чином, маємо:

$R = \{R_i\}, i = \overline{1, n}$ – 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;

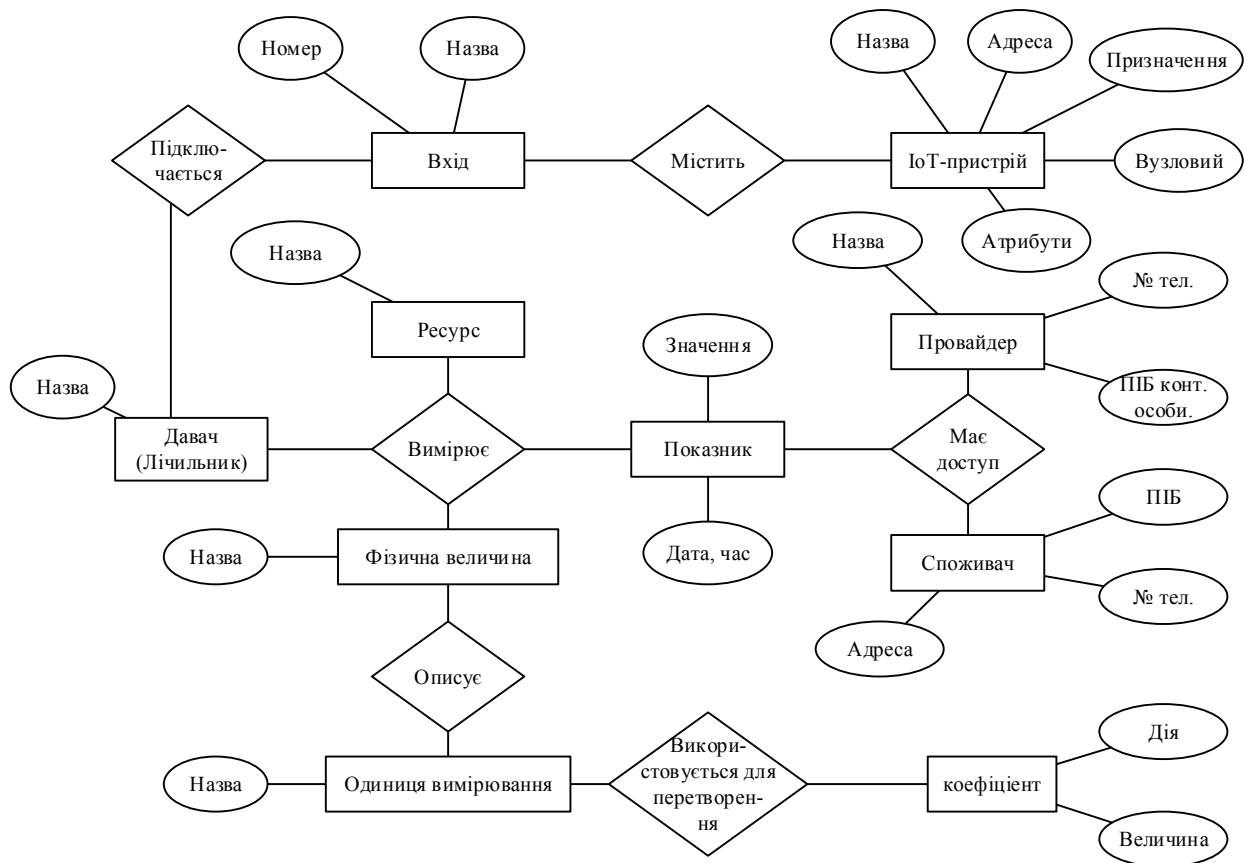


Рисунок 3.1 – Модель даних «Сутність-зв'язок» БД ресурсних мереж «розумного міста»

$IoT = \{IoT_l\}, l = \overline{1, w}$ – множина IoT-пристроїв, давачі яких інтегровані в міські ресурсні мережі. До одного з IoT-пристроїв можуть бути підключені декілька давачів інтегрованих в одну або різні РМ.

$Inp^{IoT} = \{Inp_j^{IoT_i}(I_j, k)\}, i = \overline{1, p}, k = \overline{1, r}$ – множина входів для підключення давачів та лічильників інтегрованих в пристрої IoT_i , наприклад в одному IoT-пристрої можуть бути одночасно інтегровані чотири імпульсних входи, вхід для давача температури, вхід для давача тиску, тощо. З метою уніфікації IoT-пристрої розрізняються за типом та функціональними особливостями;

$I = \{I_j\}, j = \overline{1, p}$ – множина типів входів для підключення давачів;

$L^R = \{L_j^R\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, v}$ – множина давачів та лічильників, кожен з яких вимірює одну, або декілька величин W_j та може бути підключений до входу типу I_j ;

$V^L(t) = \{V_j^{L_i}(t)\}, i = \overline{1, a}, j = \overline{1, b}$ – множина показів отриманих за допомогою давача L_i ;

$W = \{W_j\}, j = \overline{1, m}$ – множина вимірюваних величин – об'єм, кількість енергії, температура, тиск і т.п.;

$O_V = \{O_{V_{jh}}\}, j = \overline{1, m}, h = \overline{1, l}$ – множина одиниць вимірювання як то об'єм, що може вимірюватись в л, m^3 , zl і т.п.;

$K_{O_V} = \{K_{O_{V_{jh_1}O_{V_{jh_2}}}}\}, j = \overline{1, n}, h_1 = \overline{1, l}, h_2 = \overline{1, l}, h_1 \neq h_2$ – множина коефіцієнтів, для перетворення одиниць вимірювання;

$D_k = \{D_{K_{ij}}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – множина арифметичних дій які використовуються для коефіцієнтів перетворення одиниць показників витрат.

В залежності від типу давача, його покази можуть відображати послідовне накопичуване значення кількості імпульсів, на момент часу t або величину облікованих лічильником витрат ресурсу R_i за певний часовий інтервал Δt .

В першому випадку спожиті користувачем витрати ресурсу R_i за час $\Delta t = t_2 - t_1$ обчислюватимуться за формулою:

$$Value^{L_i} = \frac{(V^{L_i}(t_2) - V^{L_i}(t_1)) \cdot Mn^{L_i}}{Dl^{L_i}} - Zm^{L_i}, \quad (3.1)$$

де $V^{L_i}(t_2) - V^{L_i}(t_1)$ – різниця показників за час Δt ;

Mn^{L_i} – множник для давача L_i , практично це ваговий коефіцієнт, який задає розмірність одного імпульсу;

Dl^{L_i} – дільник для давача L_i , в окремих випадках отриману кількість імпульсів потрібно ділити на ваговий коефіцієнт;

Zm^{L_i} – зміщення для давача L_i , для імпульсних давачів це буде початкова кількість імпульсів облікована давачем на момент встановлення. Для аналогових давачів, наприклад температури, нульове значення часто відрізняється на певну величину.

В другому випадку обсяг спожитого користувачем ресурсу R_i за час $\Delta t = t_2 - t_1$ обчислюватимуться за формулою:

$$Value^{L_i} = \sum_{t=t_1}^{t=t_2} \frac{V^{L_i}(t) \cdot Mn^{L_i}}{Dl^{L_i}} - Zm^{L_i}. \quad (3.2)$$

Коефіцієнти Mn^{L_i} , Dl^{L_i} та Zm^{L_i} використовуються аналогічно як у формулі 3.2.

Для побудови макету програмно-алгоритмічного використовуються узагальнені розрахуни. Варіанти графічного подання мережі водопостачання подані на рисунках 3.2 та 3.3.



Рисунок 3.2 – Адаптоване до географічної мапи графічне подання мережі водопостачання

Фактичні витрати води по ділянках визначаються, виходячи з першого закону Кірхгофа: сума витрат води для вузла повинна дорівнювати нулю, за умови, що витрати води, що входять до вузла, – умовно позитивні, а ті, що виходять з вузла, – умовно негативні [218].

$$\sum Q_{in}^{Water} - \sum Q_{out}^{Water} = 0. \quad (3.3)$$

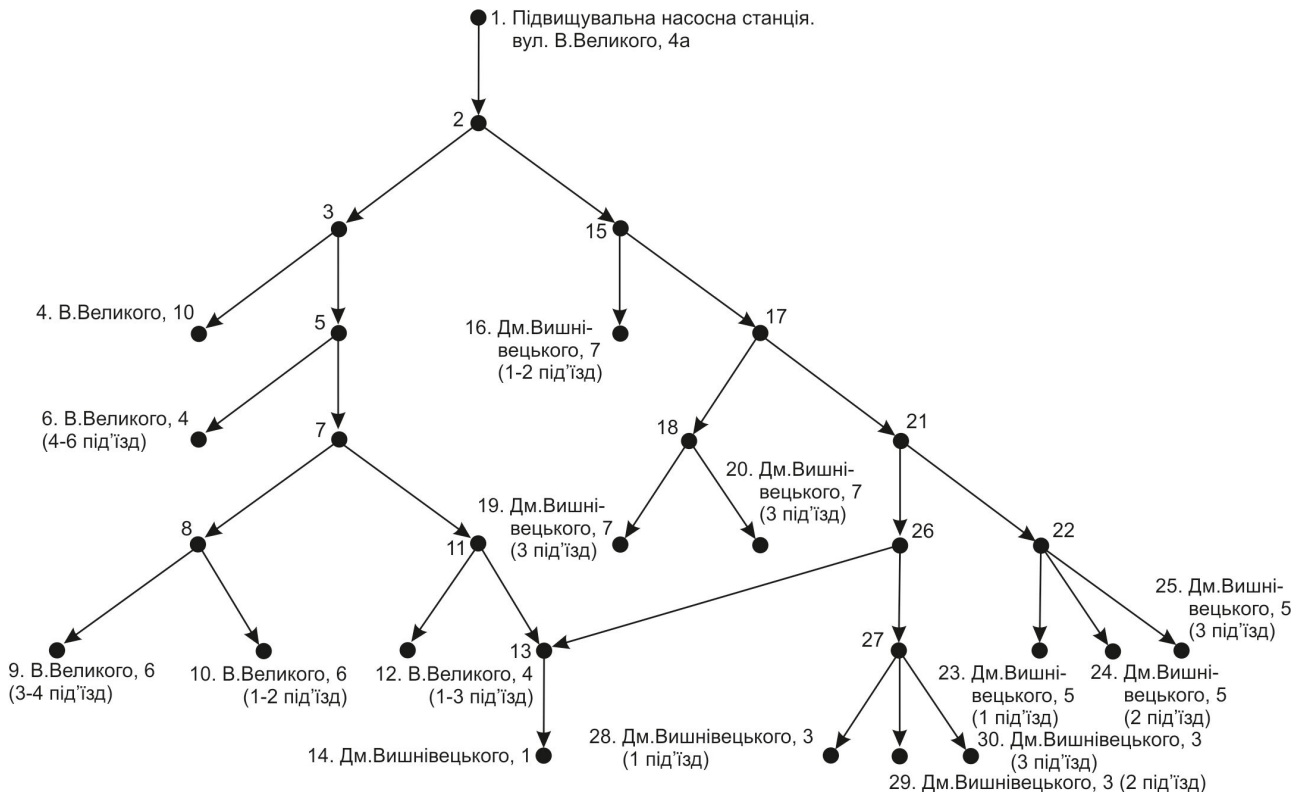


Рисунок 3.3 – Графічне подання мережі водопостачання.

Декомпозиція у вигляді графу

Приклад графічного подання частини мережі газопостачання подано на рисунку 3.4.

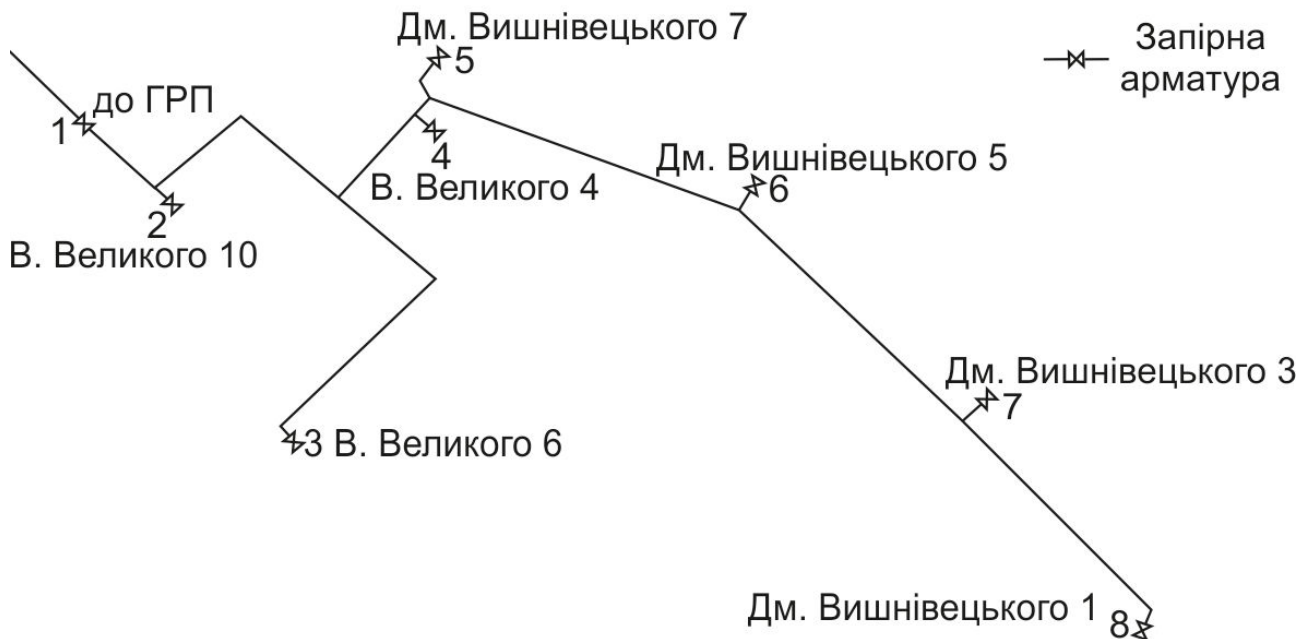


Рисунок 3.4 – Графічне подання мережі газопостачання

Для стаціонарних газових мереж виконуються обидва закони Кірхгофа [219], зокрема перший закон: для кожного кільця алгебраїчна сума витрат газу дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1,n} (-1)^{\varepsilon_i} Q_i^{gas} = 0; \quad (3.4)$$

де $\varepsilon_i = 1$, якщо орієнтація i -го ребра співпадає з напрямком обходу і $\varepsilon_i = 0$ – в іншому випадку,

Q_i^{gas} – i -й показник витрат газу.

У випадку використання додаткових резервуарів у мережах водо- та газопостачання вони повинні бути обладнані додатковими лічильниками, які облікуватимуть обсяги ресурсів, що надходять до відповідного резервуару та накопичуються в ньому. Приклад графічного подання мережі електропостачання зображено на рисунку 3.5.

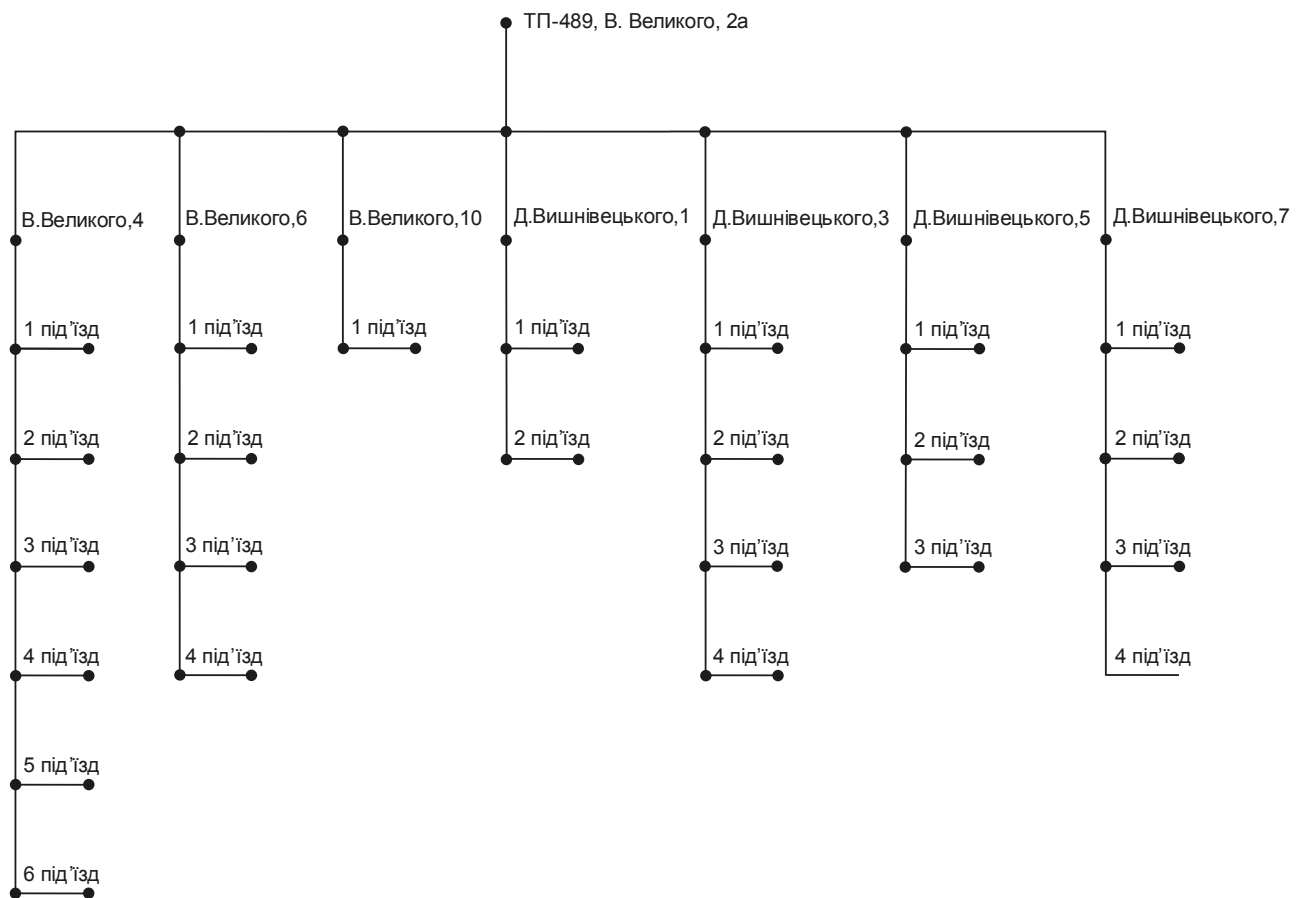


Рисунок 3.5 – Графічне подання мережі електропостачання

Для мереж електропостачання також виконуються обидва закони Кірхгофа [220], тому використовуючи перший закон Кірхгофа до комплексів діючих значень струмів, одержимо:

$$I = \sum_{i=1,n} I_i . \quad (3.5)$$

Відповідно, спожита активна потужність усього кола дорівнює арифметичній сумі активних потужностей паралельних віток:

$$P = \sum_{i=1,n} P_i . \quad (3.6)$$

Спожита реактивна потужність усього кола дорівнює алгебраїчній сумі реактивних потужностей віток:

$$Q = \sum_{i=1,n} Q_i . \quad (3.7)$$

Повна потужність електричного кола буде:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} . \quad (3.8)$$

При виконанні макетних розрахунків розглядаємо процес теплопостачання комунальними тепломережами як ізохорний, при якому об'єм теплоносія залишатиметься незмінним, а зміна внутрішньої енергії дорівнюватиме кількості теплоти:

$$Q = \Delta U + A . \quad (3.9)$$

Оскільки $A = 0$, то:

$$Q = \Delta U = c_\gamma m \Delta T . \quad (3.10)$$

Узагальнено внутрішня енергія у вітці тепломережі дорівнюватиме сумі теплоти, що втрачатиметься при транспортуванні, та сумі облікованої теплоти, спожитої для обігріву приміщень.

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta U_{\text{втрам}} + \sum_{j=1}^m \Delta U_j. \quad (3.11)$$

де n – кількість ділянок, на яких відбуваються втрати тепла при транспортуванні теплоносія,

m – кількість приміщень, для яких відбувається облік теплопостачання.

В процесі інтеграції ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних мережах в ІС «розумного міста», використані для макетних розрахунків принципи обліку витрат у відповідних ресурсних мережах можуть бути замінені більш детальними моделями.

Метод опрацювання подій призначений для оперативного реагування на зміну станів множини міських мереж постачання різних за своєю природою ресурсів, з метою виявлення позаштатних та аварійних ситуацій та пришвидшення процесів інформування множини провайдерів, котрі обслуговують зазначені мережі. Реалізація методу опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста» передбачає реалізацію наступних кроків (див. рисунок 3.6):

Крок 1. Визначення ключової точки T^{R_i} i -го ресурсу R_i , відносно якої проводиться розрахунок.

Крок 2. Визначення способу розрахунку сусідніх давачів в околі ключової точки T^{R_i} . Для мережі водопостачання це будуть давачі, інтегровані в той же вузол мережі. Для мережі газопостачання – давачі, інтегровані в те ж кільце та вітку. Для електричної мережі – давачі, підключені паралельно до того ж сегмента та вітки електромережі. Для тепломережі – давачі, інтегровані в те ж коло та вітку.

Крок 3. Для i -го ресурсу R_i формується множина провайдерів P^{R_i} , котрі надають послуги в околі вибраної розрахункової точки T^{R_i} .

Крок 4. Для i -го ресурсу R_i формується множина давачів L^{R_i} , котрі належать до околу вибраної розрахункової точки T^{R_i} .

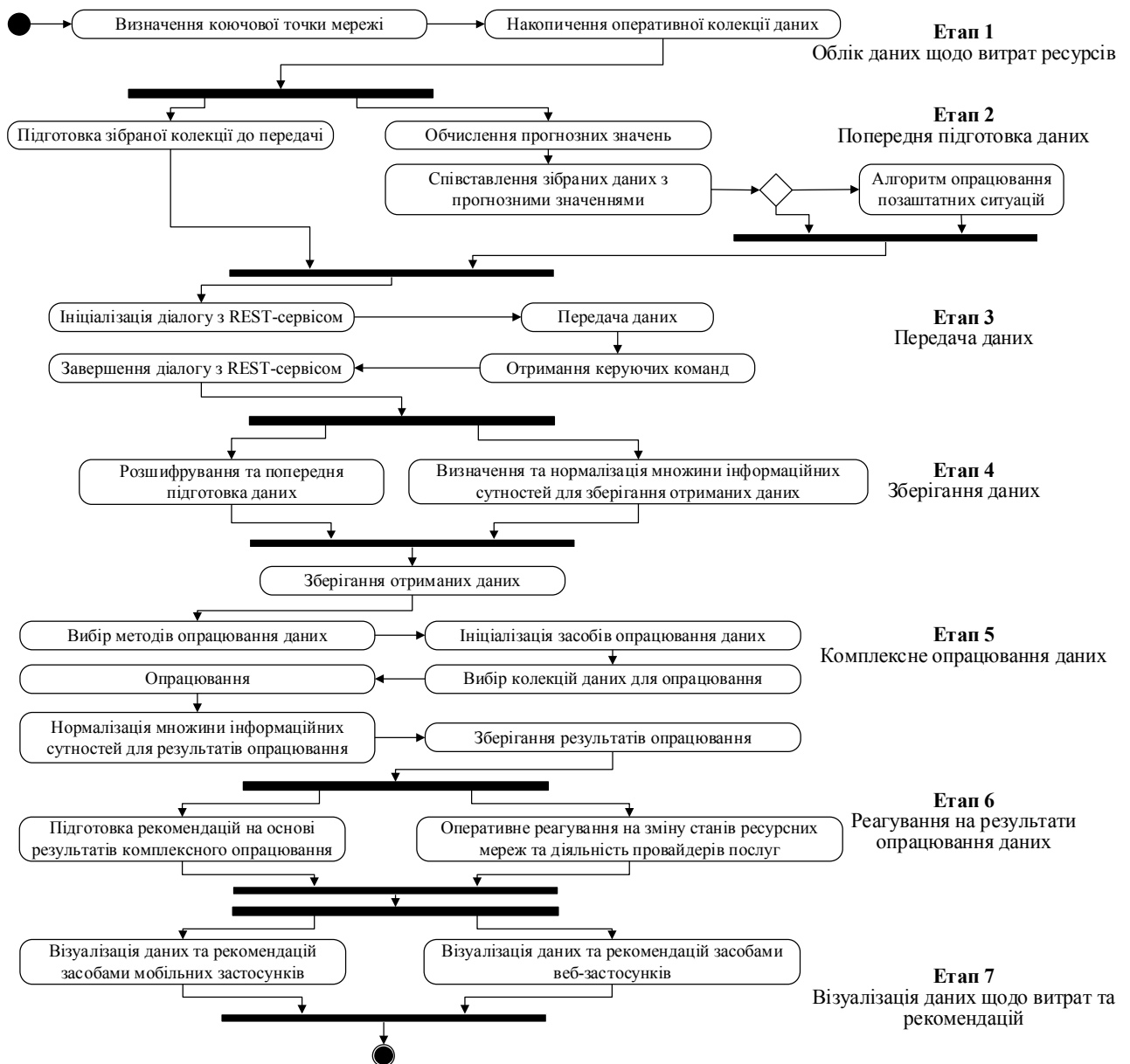


Рисунок 3.6 – Діаграма діяльності для методу опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста»

Крок 5. Для кожного $L_j^{R_i}$ з елементів множини давачів L^{R_i} визначити знак $(-1)^{\varepsilon_j}$. Для мереж водо, електро- та теплопостачання, якщо через давач $L_j^{R_i}$ до операційної точки відбувається постачання ресурсу, то $\varepsilon_j = 1$, а якщо відбувається відбір ресурсу, то $\varepsilon_j = 0$. Для стаціонарних газових мереж $\varepsilon_j = 1$, якщо орієнтація j -го ребра співпадає з напрямком обходу, і $\varepsilon_j = 0$ – в іншому випадку.

Крок 6. Для кожного $L_j^{R_i}$ з елементів множини давачів L^{R_i} за формулою 3.1 або 3.2 визначається величина $Value_j^{R_i}$ облікованого ресурсу R_i .

Крок 7. Для кожного $L_j^{R_i}$ з елементів множини давачів L^{R_i} виконується перетворення обчисленої величина $Value_j^{R_i}$ облікованого ресурсу R_i до одиниць вимірювання, в яких виконується облік ресурсу для ключової точки T^{R_i} . Перетворення відбувається з використанням коефіцієнтів з множини K_{O_i} та арифметичних дій з множини D_K .

Крок 8. Обчислити суму показників витрат ресурсу R_i облікованих в околі розрахункової точки T^{R_i} :

$$S^{R_i} = \sum_{j=1, n} (-1)^{\varepsilon_j} Value_j^{R_i}. \quad (3.12)$$

Крок 9. Виконується порівняння обчисленої суми S^{R_i} з пороговим значенням $\Delta S_{T^{R_i}}^{R_i}$. Якщо $S^{R_i} \geq \Delta S_{T^{R_i}}^{R_i}$, то ініціюється виконання алгоритму реагування на перевищення допустимих витрат для ресурсної мережі R_i .

Крок 10. Виконується порівняння обчисленої суми S^{R_i} з пороговим максимальним значенням $\max \Delta S_{T^{R_i}}^{R_i}$. Якщо $S^{R_i} \geq \max \Delta S_{T^{R_i}}^{R_i}$, то ініціюється виконання алгоритму аварійного реагування для ресурсної мережі R_i .

Крок 11. Формується результуючий звіт.

Апробація запропонованого методу опрацювання подій в міських ресурсних мережах відбувалася з використанням інформаційної системи, розробленої на базі автоматизованої системи контролю й обліку телеметричних показників витрат води [4].

3.2 Метод вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних»

Провівши аналіз широкої палітри міських масивів даних, можна стверджувати, що близько 70 відсотків всіх даних щодо ресурсних та соціокомунікаційних мереж [221] є добре структурованими і можуть бути

описані за допомогою формального апарату функціональних залежностей та є зручними для нормалізації та приведення до відповідної нормальної форми. У випадках, коли реляційна модель даних не може бути ефективно застосована для процесів зберігання колекцій міських даних, використовуються СД та відповідні процедури їх опрацювання, зокрема зріз та агрегація. Окрім БД та СД, приблизно 10-15% наборів даних «розумного міста» є слабо структурованими та можуть подаватись за допомогою моделей «Великих даних» [222]. В контексті широкого спектру задач, які генеруються під час реалізації процедур інформаційно-технологічного супроводу проектів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, використання моделей «Великих даних» є актуальним завданням [39]. При цьому багаторазово доводиться давати чітку однозначну відповідь на запитання: чи відповідають дані, які слід опрацьовувати, повному спектру характеристик та параметрів, притаманних концепту «Великих даних»? Коректна відповідь на таке запитання дозволяє сформулювати експертну думку щодо методів та засобів, необхідних для опрацювання таких даних. Природно постає питання, яким саме інструментарієм доцільно користуватись в процедурах підготовки та ухвалення такого роду рішень.

В дисертації запропоновано формувати відповіді на такого роду запитання з використанням методу аналізу ієрархій. Опис процедур зазначеного методу в контексті вирішення задачі ідентифікації повного набору характеристик та параметрів «Великих даних» в інформаційних системах «розумних міст» подано нижче. Водночас слід зауважити, що даний метод слід реалізовувати у відповідних процедурах з врахуванням можливої необхідності розширення множин характеристик і їх параметрів. Фахівці з використання моделей «Великих даних» з міжнародного центру ядерних досліджень (ЦЕРН, Женева) висловлюють припущення щодо суттєвого їх зростання у найближчій перспективі до 20, 30 а то і 100v.

Вибір категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» для потреб «розумного міста» [38] пропонується виконати за допомогою одного з

відомих методів експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів для аналізу ієрархій, запропонована свого часу Т. Сааті [223]–[225]. Для реалізації методу аналізу ієрархій виконаємо наступний перелік дій:

Крок 1. Побудуємо ієрархію з трирівневою структурою. Верхнім рівнем ієрархії є ціль, щодо якої прийматимуться рішення (див. рисунок 3.7).

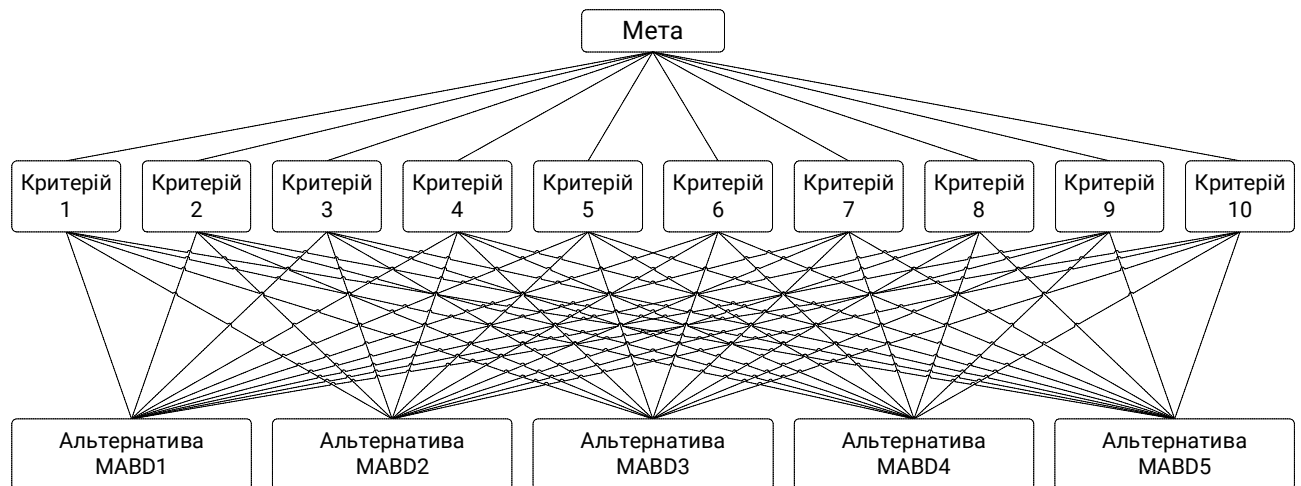


Рисунок 3.7 – Загальна схема методу аналізу ієрархій вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» «розумного міста»

Крок 2. Сформуємо розміщену на другому рівні множину критеріїв, відповідно до яких здійснюється вибір альтернативних категорій засобів аналітичного опрацювання (MABD) міських колекцій «великих даних».

За результатами дослідження сформовано перелік характеристик «Великих даних», який подано у форматі «10V» [37], що містить атрибути подані як: обсяг (volume), швидкість (velocity), різноманітність (variety), валідність (validity), значення (value), точність (veracity), видимість (visibility), віртуальність (virtual), мінливість (variability) та валентність (valence). Позначатимемо $V^{BigData}(Attr^{BigData})$, множину атрибутів опису «Великих даних»

$Attr^{BigData} = \{Attr_i^{BigData}, i = \overline{1,10}\}$, які подають зафіксовані характеристики.

$$Attr^{BigData} = \left\{ \begin{array}{l} volume, velocity, variety, validity, value, veracity, \\ visibility, virtual, variability, valence \end{array} \right\}. \quad (3.13)$$

Для кожної з наведених характеристик сформуємо переліки параметрів, котрі дозволяють однозначно ідентифікувати наявність i -го атрибута:

$$P_i^{BigData} = \{P_{J_i}^{BigData}, J_i = \overline{1, N_i}\}. \quad (3.14)$$

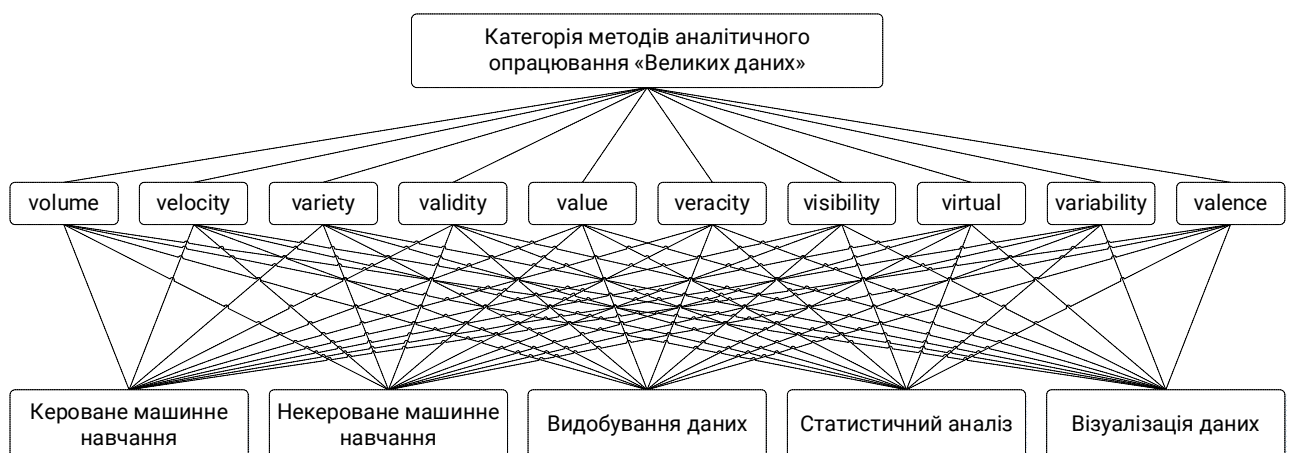
де N_i – кількість параметрів, що описують i -ту характеристику $Attr_i^{BigData}$ «Великих даних».

Подальший розвиток концепту «Великих даних» веде до розширення поданого переліку властивостей [40].

Крок 3. Сформуємо перелік альтернатив, в якості яких розглядатимемо ряд категорій засобів аналітичного опрацювання «Великих даних», зокрема:

1. Кероване машинне навчання [226].
2. Некероване машинне навчання [227].
3. Видобування даних [228].
4. Статистичний аналіз [229].
5. Візуалізація даних [230].

Доступні альтернативи категорій засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» утворюють нижній рівень ієрархії. Структура задачі прийняття рішень за методом аналізу ієрархій щодо вибору категорії засобів аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних» для супроводу процесів в ресурсних та соціокомунікаційних мережах подана на рисунку 3.8.



Рисунк 3.8 – Структура задачі прийняття рішень щодо вибору категорії засобів аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних»

У нашому випадку процес прийняття рішень полягає у виборі однієї з можливих альтернативних категорій на основі побудованого вектора пріоритетів. Пріоритетом буде дійсне число, що відповідатиме кожному альтернативному варіанту. Альтернативний варіант з найвищим пріоритетом буде вважатись прийнятим рішенням. Пріоритет альтернативного варіанту називатимемо його вагою.

Крок 4. Визначення шкали експертних оцінок для методу аналізу ієрархій використовується. В даному випадку використана шкала експертних оцінок, або ступенів важливості для парних порівнянь при оцінюванні переваги одного об'єкта над іншим зі значеннями від 1 до 9. Загальний зміст оцінок подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення ступенів важливості для матриць попарних порівнянь

Ступінь важливості	Означення	Коментар
1	Однакова важливість	Внесок обох об'єктів однаковий
3	Слабка значущість	Досвід і судження експертів надають першому об'єкту невелику перевагу перед другим
5	Суттєва або велика значущість	Досвід і судження експертів надають першому об'єкту велику перевагу відносно другого
7	Дуже велика та очевидна значущість	Перевага першого об'єкту над другим дуже велика, практично явна.
9	Абсолютна значущість	Свідчення на користь переваги першого об'єкту більш ніж переконлива.
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми значеннями шкали	Використовуються для випадків, коли потрібні компромісні рішення
Обернені величини поданих значень	Якщо для порівняння першого об'єкта з другим об'єктом отримано одне з поданих вище значень, то, відповідно, результат порівняння другого об'єкта з першим об'єктом, є оберненою величиною	

Крок 5. Побудова матриць попарних порівнянь для кожного з поданих вище оціночних критеріїв (див. додаток Д) та обчислення числових характеристик цих матриць, зокрема індекса узгодженості, найбільшого власного значення та індекса послідовності співвідношень. Кожна із зазначених матриць містить значення експертних оцінок щодо пар альтернатив, якими є аналізовані категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» з поданого раніше переліку. Характеристика «обсяг (volume)» характеризує величину обсягів міських колекцій «Великих даних» [231]. Матриця попарних порівнянь для вибору категорії методів аналітичного опрацювання «Великих даних» за атрибутом «обсяг (volume)» подана у таблиці Д.1 додатку Д. Результати обчислення оцінок ваг альтернатив за критерієм «обсяг (volume)» подано у таблиці Д.2 додатку Д. Елементи стовпців табл. Д.2 (див. додаток Д) отримаємо завдяки процедурі нормалізації застосованої до відповідних елементів стовпців табл. Д.1 (див. додаток Д). Для оцінки головного власного вектора матриці попарних порівнянь обчислюємо вектор пріоритетів, елементи якого є вагами альтернатив, обчислених у формі алгебраїчних сум елементів відповідних рядків табл. Д.2, поділеними на загальну кількість альтернатив – кількість елементів рядка табл. Д.1.

Отже, за критерієм обсяг (volume) найкращою альтернативою є категорія «Кероване машинне навчання», оскільки вона має найбільше значення ваги – 0,3441. Для матриці попарних порівнянь, побудованої згідно критерію обсяг (volume), обчислено такі параметри:

- оцінка найбільшого власного значення, обчислена за формулою:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i S_i, \quad (3.15)$$

де w_i – вага альтернативи з i -м номером,

S_i – сума елементів стовпця матриці попарних порівнянь з i -м номером,

n – кількість альтернатив;

- індекс узгодженості:

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \quad (3.16)$$

– індекс послідовності співвідношень:

$$C_R = \frac{C_I}{R_I}. \quad (3.17)$$

Для всіх подальших обчислень ваг альтернатив та $n = 5$ використовуватимемо однакове значення випадкового індексу $R_I = 1,25$.

Після виконання обчислень матриці попарних порівнянь, побудованої за критерієм обсяг (volume), вказані параметри набудуть значень:

– оцінка найбільшого власного значення:

$$\lambda_{\max} = 0,3441 \cdot 2,67 + 0,3172 \cdot 3,83 + 0,1243 \cdot 9,50 + 0,1253 \cdot 8,5 + 0,089 \cdot 11 = 5,5394; \quad (3.18)$$

– індекс узгодженості:

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,5394 - 5}{5 - 1} = 0,0898; \quad (3.19)$$

– індекс послідовності співвідношень

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{0,0898}{1,25} = 0,0725. \quad (3.20)$$

Оскільки $C_R = 7,25\% \leq 10\%$ то матрицю попарних порівнянь за критерієм «обсяг (volume)» вважаємо узгодженою. Матриці попарних порівнянь для вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» за критеріями швидкість (velocity), різноманітність (variety), валідність (validity), значення (value), точність (veracity), видимість (visibility), віртуальність (virtual), мінливість (variability) та валентність (valence) подано в додатку Д. Результати обчислення ваг альтернатив для зазначених критеріїв також подано у додатку Д. Найкращі альтернативи за поданими критеріями та відповідні їм обчислені значення ваг подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Найкращі альтернативи та відповідні їм значення ваг

Критерій	Найкраща альтернатива	Вага
Швидкість (velocity)	Некероване машинне навчання	0,3251
Різноманітність (variety)	Кероване машинне навчання	0,4955
Валідність (validity)	Некероване машинне навчання	0,3149
Значення (value)	Кероване машинне навчання	0,486
Точність (veracity)	Кероване машинне навчання	0,414
Видимість (visibility)	Кероване машинне навчання	0,4143
Віртуальність (virtual)	Видобування даних	0,3632
Мінливість (variability)	Некероване машинне навчання	0,3719
Валентність (valence)	Візуалізація даних	0,4987

Аналогічно до критерію обсяг (volume), обчислено оцінки найбільших власних значень – λ_{\max} , індекси узгодженості – C_I та послідовності співвідношень – C_R , подані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри матриць попарних порівнянь

Критерій	λ_{\max}	C_I	C_R
Швидкість (velocity)	5,1297	0,0324	0,0262
Різноманітність (variety)	5,2747	0,0687	0,0554
Валідність (validity)	5,25	0,0625	0,0504
Значення (value)	5,3923	0,0981	0,0791
Точність (veracity)	5,3445	0,0861	0,0695
Видимість (visibility)	5,1535	0,0384	0,0309
Віртуальність (virtual)	5,3042	0,0761	0,0613
Мінливість (variability)	5,3897	0,0974	0,0786
Валентність (valence)	5,3578	0,0895	0,0721

Оскільки для всіх критеріїв відношення узгодженості виконується нерівність $C_R \leq 10\%$, то усі матриці попарних порівнянь узгоджені.

Крок 6. Оцінювання ступені важливості критеріїв з метою визначення ваг альтернатив. Для спрощення розрахунків вважатимемо критерії однаково важливими. При цьому у матриці попарних порівнянь усі клітинки будуть заповнені однаковими значенням, рівними одиниці.

У стовпці «загальна вартість» таблиці Д.21 (див. додаток Д), у вигляді середнього арифметичного значення ваг, обчислено альтернативи категорій засобів аналітичного опрацювання.

Крок 7. Вибір категорії з найбільшим значенням ваги. За експертними оцінками, отриманими методом аналізу ієрархій, саме категорія засобів аналітичного опрацювання «Кероване машинне навчання» вважається найкращим варіантом для використання в процедурах аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних». Оцінимо середнє значення узгодженості ієрархії відповідно до зваженого індексу послідовності співвідношень:

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{0,0739}{1,25} = 0,0596 < 0,1. \quad (3.21)$$

Отриманий результат свідчить про узгодженість усієї ієрархії. Результати обчислень подано в таблиці 3.4 та на рисунку 3.9.

Таблиця 3.4 – Альтернативи та ваги категорій засобів аналітичного опрацювання «Великих даних»

Альтернатива	Пріоритет
Кероване машинне навчання	0,3442
Некероване машинне навчання	0,2339
Видобування даних	0,1607
Статистичний аналіз	0,1206
Візуалізація даних	0,1418

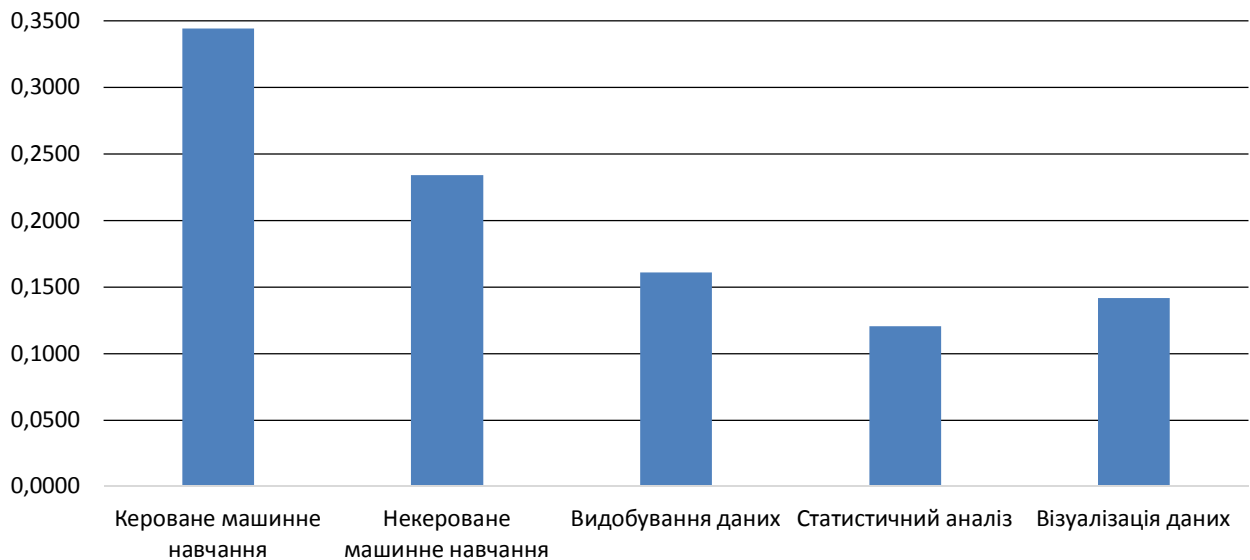


Рисунок 3.9 – Діаграма розподілу вагових коефіцієнтів альтернативних категорій засобів аналітичного опрацювання «Великих даних»

3.3 Метод вибору платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних

Для розроблення прототипів міських ІС, які максимально відповідають принципам, сформованим на Всесвітньому саміті з питань інформаційного суспільства [232], та дозволяють забезпечити супровід процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах великого за критерієм чисельність населення «розумного міста», належить сформувати ІТР, яка б ефективно реалізувала процедури аналітичного опрацювання колекцій міських даних. Така ІТР повинна надавати можливість розробляти та використовувати сучасні ефективні інструментальні засоби для забезпечення процесів аналітичного опрацювання [11]. Вибір цільової аналітичної ІТР для потреб «розумного міста» запропоновано виконувати з використанням відомого методу експертних оцінок, побудованого на основі процедури попарних порівнянь варіантів з дотриманням наступної послідовності дій:

Крок 1. З метою застосування зазначеного методу побудовано ієрархію на основі трирівневої структури. На верхньому рівні ієрархії знаходиться ціль,

на досягнення якої спрямовані рішення. Другий рівень містить множину критеріїв, відповідно щодо яких відбувається вибір альтернативних ІТР для аналітичного опрацювання колекцій міських даних. Доступні альтернативи утворюють нижній рівень ієрархії. Процес прийняття рішень відбувається на основі побудованого вектора пріоритетів та приводить до вибору однієї з доступних альтернатив. Пріоритетом в розглянутому випадку буде дійсне число, що відповідатиме кожному альтернативному варіанту. Відповідно до найвищого пріоритету буде вибрано альтернативний варіант, котрий вважатиметься прийнятим рішенням. Відповідне тривірневе ієрархічне дерево подано на рисунку 3.10.

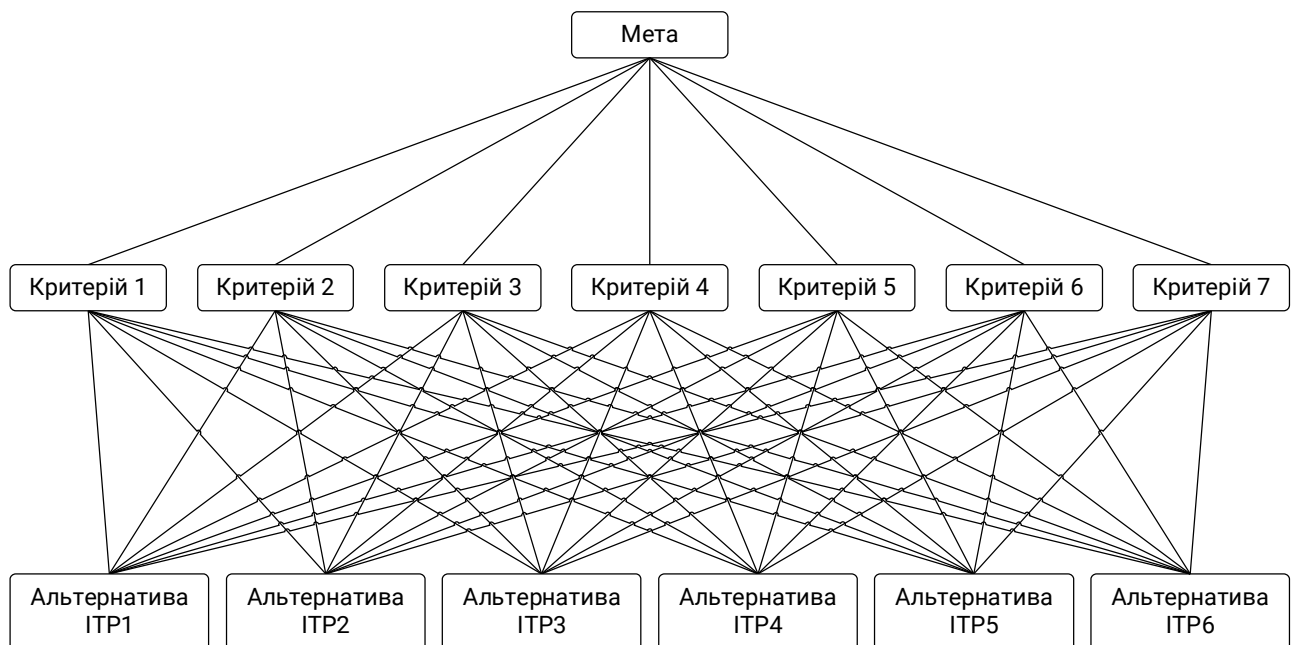


Рисунок 3.10 – Загальна схема методу аналізу ієрархій вибору аналітичної ІТР для реалізації проектів у «розумному місті»

Крок 2. Формування переліку альтернатив. Як приклад, в якості альтернатив розглянуто декілька популярних ІТР аналітичного опрацювання даних, зокрема:

1. IBM Bigdata Analytics (ITP_1) [233].
2. HP Bigdata (ITP_2) [234].

3. Microsoft Bigdata (ITP₃) [235].
4. Oracle Bigdata Analytics (ITP₄) [236].
5. Google BigQuery (ITP₅) [237].
6. Cisco Bigdata (ITP₆) [238].

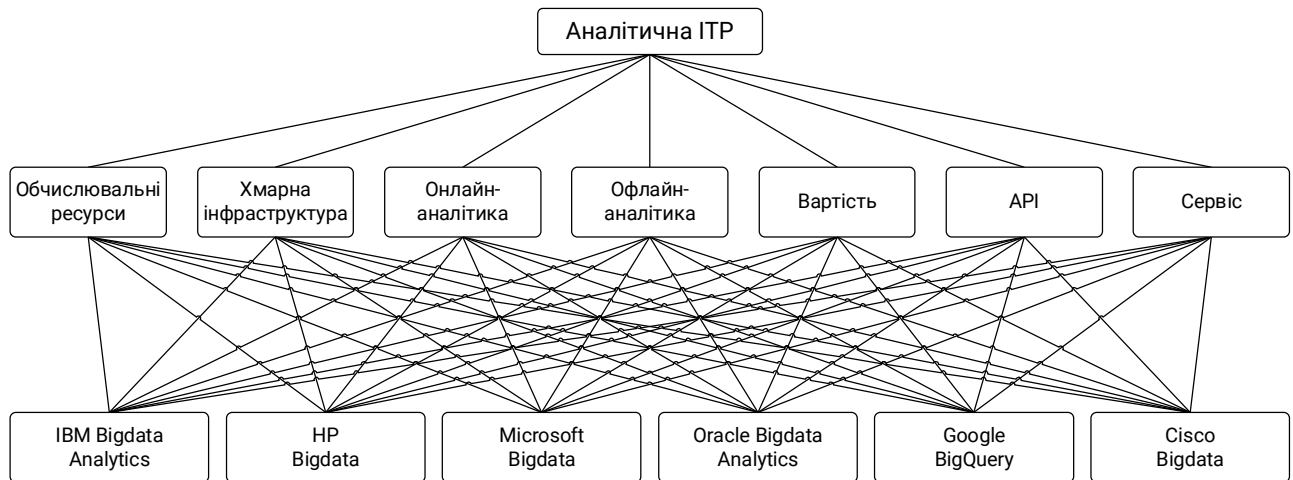
Крок 3. Формування переліку оцінювальних критеріїв на основі аналізу властивостей та можливостей використання обраних ІТР. Важливим фактором у формулюванні критеріїв, за якими обрано «кращу» ІТР, є можливість їх адаптації до потреб великого за критерієм чисельність населення міста, і зокрема це стосується м. Тернопіль.

На основі результатів проведеного системного аналізу функціональних можливостей обраних аналітичних ІТР сформовано множину критеріїв, відповідно до яких здійснюється вибір аналітичної ІТР. Основними критеріями, для обчислення альтернативні ваги, обрано сім характеристик аналізованих аналітичних ІТР:

1. Обчислювальні ресурси.
2. Хмарна інфраструктура.
3. Онлайн-аналітика.
4. Офлайн-аналітика.
5. Вартість.
6. Прикладні програмні інтерфейси – API (англ. Application Programming Interface).
7. Сервіс.

Крок 4. Вибір шкали експертних оцінок. Для досягнення поставленої мети слід було обрати одну з альтернатив на основі множини сформульованих критеріїв. Процес вибору альтернативи відбувався шляхом обчислення елементів вектора пріоритетів, котрі відповідають кожній з доступних альтернатив. При цьому прийняття рішення базувалося на визначенні альтернативи з найбільшим значенням. Для реалізації методу аналізу ієрархій в цьому випадку була використана шкала експертних оцінок, що подана у табл. 3.1.

Базовою особливістю аналітичних ІТР, котрі підлягають аналізу, є те, що жодна з них не орієнтована на опрацювання міських колекцій даних. Структура задачі прийняття рішень за методом аналізу ієрархій щодо вибору аналітичної ІТР подана на рисунку 3.11.



Рисунк 3.11 – Структура задачі прийняття рішень методом аналізу ієрархій щодо вибору аналітичної ІТР для супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст»

Крок 5. Для реалізації методу аналізу ієрархії з метою вибору аналітичної ІТР побудовані матриці попарних порівнянь для кожного з перелічених оціночних критеріїв (див. додаток Е) та обраховані відповідні числові характеристики, зокрема, індекс узгодженості, найбільше власне значення та індекс послідовності співвідношень.

Кожна із зазначених матриць містить значення експертних оцінок щодо пар аналізованих аналітичних ІТР. При використанні методу аналізу ієрархій в частині побудови матриці попарних порівнянь для кожного критерію подано додаткові аргументи щодо особливостей створення та використання інформаційних систем супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст».

Критерій «обчислювальні ресурси» визначає інтегровані характеристики обчислювальних ресурсів, що надаються аналітичними ІТР, можливість їх

динамічного виділення та вивільнення. Матриця попарних порівнянь для вибору аналітичної ІТР за атрибутом «обчислювальні ресурси» подана у таблиці Е.1 додатку Е.

Результати обчислення оцінок ваг альтернатив за критерієм «обчислювальні ресурси» подано у таблиці Е.2 (див. додаток Е). За критерієм «обчислювальні ресурси» найкращою альтернативою є аналітична ІТР «HP Bigdata», оскільки вона має найбільше розраховане значення ваги – 0,3083. Для матриці попарних порівнянь, побудованої згідно критерію «обчислювальні ресурси», обчислено такі параметри:

- оцінка найбільшого власного значення, формула 3.15.
- індекс узгодженості (формула 3.16).
- індекс послідовності співвідношень (формула 3.17).

Для всіх подальших обчислень ваг альтернатив та $n = 6$ використовуватимемо однакове значення випадкового індексу $R_I = 1,25$.

Після виконання обчислень матриці попарних порівнянь, побудованої за критерієм «обчислювальні ресурси», вказані параметри набудуть наступних значень:

- оцінка найбільшого власного значення:

$$\lambda_{\max} = 0,1906 \cdot 5,25 + 0,3083 \cdot 3,33 + 0,1795 \cdot 6,67 + 0,1073 \cdot 10 + 0,1461 \cdot 7,33 + 0,0683 \cdot 15 = 6,393; \quad (3.22)$$

- індекс узгодженості:

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6,393 - 6}{6 - 1} = 0,0786; \quad (3.23)$$

- індекс послідовності співвідношень:

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{0,0786}{1,25} = 0,0634. \quad (3.24)$$

Оскільки $C_R = 6,34\% \leq 10\%$, то матриця попарних порівнянь за критерієм «обчислювальні ресурси» вважається узгодженою.

Матриці попарних порівнянь для вибору аналітичних ІТР за критеріями «хмарна інфраструктура», «онлайн-аналітика», «офлайн-аналітика», «вартість», «прикладні програмні інтерфейси (API)» та «сервіс» подано в додатку Е. Результати обчислення ваг альтернатив для зазначених критеріїв вибору аналітичної ІТР подано у додатку Е. Найкращі альтернативи вибору аналітичної ІТР за поданими критеріями та відповідні їм значення ваг наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Найкращі альтернативи та ваги вибору аналітичної ІТР

Критерій	Найкраща альтернатива	Вага
Обчислювальні ресурси	HP Bigdata	0,3083
Хмарна інфраструктура	IBM Bigdata Analytics	0,4399
Онлайн-аналітика	IBM Bigdata Analytics	0,4026
Офлайн-аналітика	IBM Bigdata Analytics	0,2656
Вартість	IBM Bigdata Analytics	0,4528
Прикладні програмні інтерфейси (API)	IBM Bigdata Analytics	0,4729
Сервіс	HP Bigdata	0,4326

Аналогічно до критерію «обчислювальні ресурси», обчислено оцінки найбільших власних значень – λ_{\max} , індекси узгодженості – C_I та послідовності співвідношень – C_R , подані в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри матриць попарних порівнянь

Критерій	λ_{\max}	C_I	C_R
Обчислювальні ресурси	6,393	0,0786	0,0634
Хмарна інфраструктура	6,253	0,0507	0,0409
Онлайн-аналітика	6,423	0,0846	0,0682
Офлайн-аналітика	6,128	0,0255	0,0206
Вартість	6,495	0,0991	0,0799
Прикладні програмні інтерфейси (API)	6,377	0,0754	0,0608
Сервіс	6,432	0,0864	0,0697

Для всіх критеріїв виконується нерівність $C_R \leq 10\%$, що свідчить про те, що всі матриці попарних порівнянь є узгодженими.

Крок 6. Визначення ваг альтернатив. Для визначення ваг альтернатив проведено оцінювання ступеню важливості критеріїв (див. додаток Е, таблиця Е.15). Результати обчислення оцінок ваг альтернатив критеріїв подано у таблиці Е.16.

Крок 7. Зважування результатів вибору. Зважені результати вибору аналітичної ІТР подано в таблиці Е.17 (див. додаток Е). Результати обчислень ваг подано в таблиці 3.7 та на рисунку 3.12.

Таблиця 3.7 – Альтернативи та ваги аналітичних ІТР

Альтернатива	Пріоритет
IBM Bigdata Analytics	0,0462
HP Bigdata	0,0386
Microsoft Bigdata	0,0180
Oracle Bigdata Analytics	0,0122
Google BigQuery	0,0177
Cisco Bigdata	0,0101

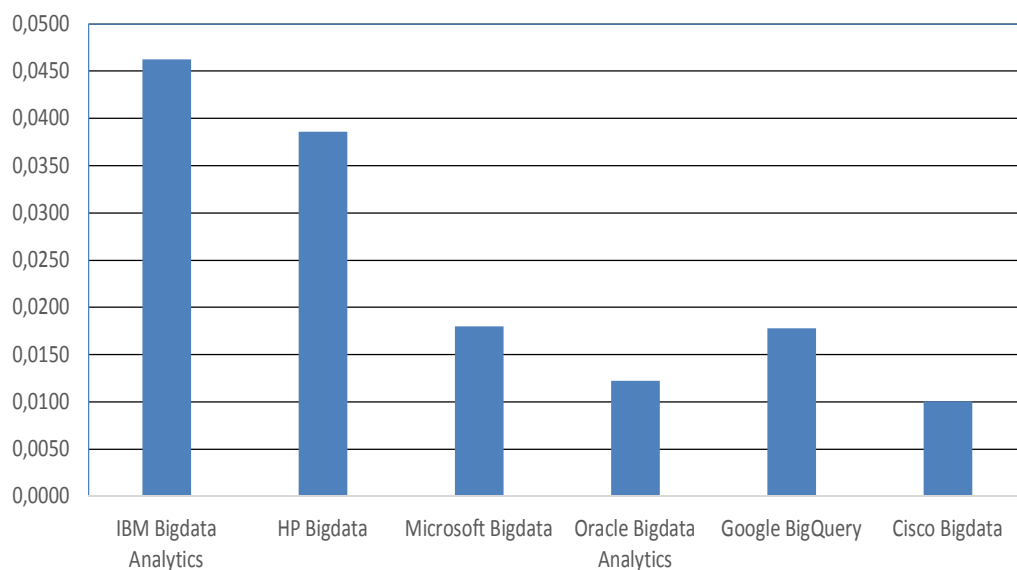


Рисунок 3.12 – Діаграма розподілу вагових коефіцієнтів альтернативних аналітичних ІТР

Крок 8. Вибір аналітичної ІТР. На основі поданих 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».

3.4 Інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

Розроблена інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах сформована у вигляді технологічного ланцюжка та подана на рисунку 3.13. 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.

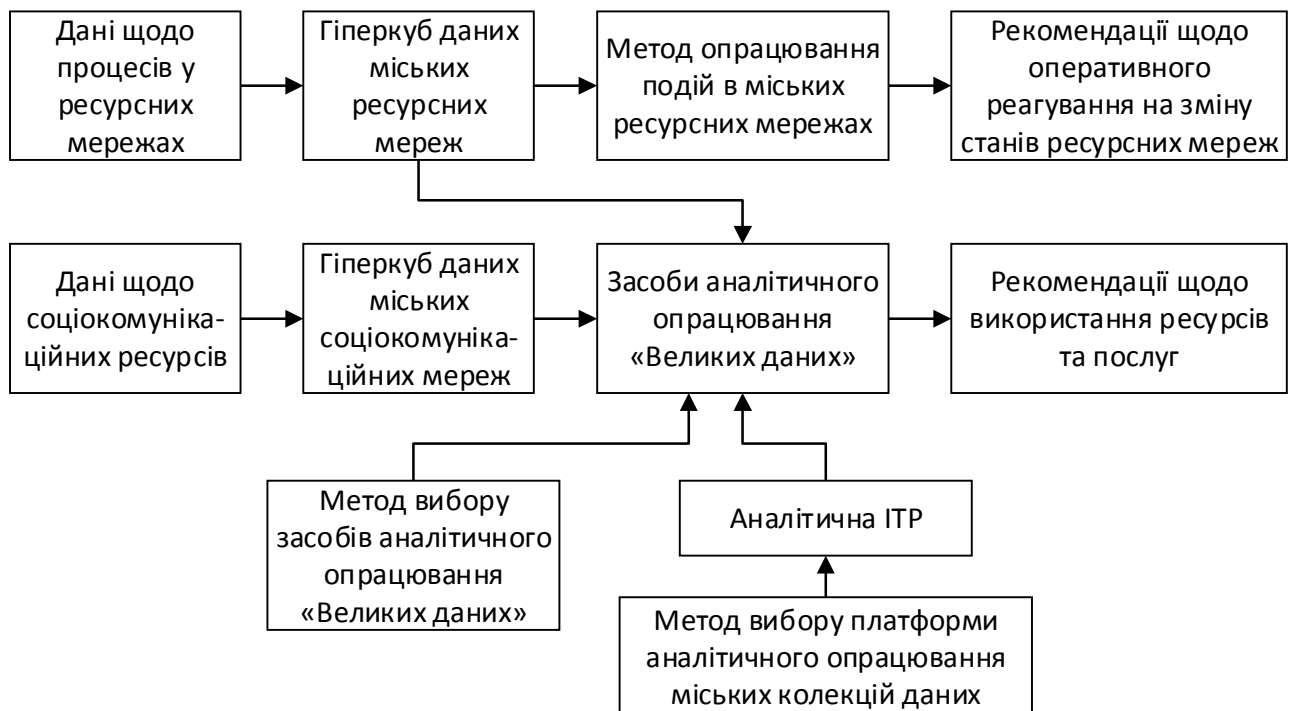


Рисунок 3.13 – Інформаційна технологія супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

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. Результатом застосування інформаційної технології є рекомендації щодо оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж і використання відповідних ресурсів, інформаційних сервісів та послуг.

Послідовність етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумних міст» у вигляді UML «Діаграми діяльності» подано на рисунку 3.14 [41].

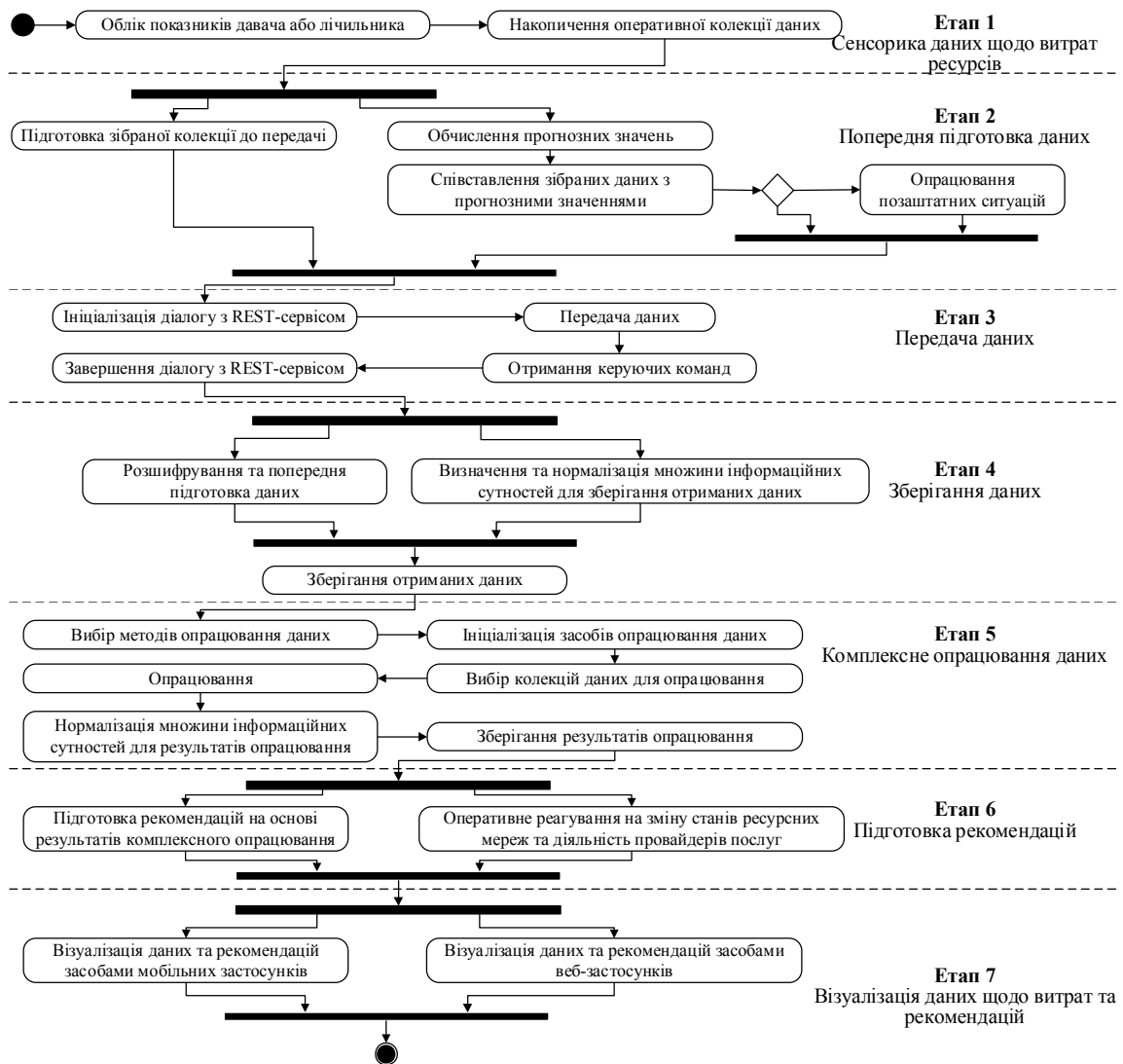


Рисунок 3.14 – Послідовність етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумних міст»

Сенсорика, відбір, реєстрація та опрацювання даних у ресурсних мережах «розумного міста» є складним та багатофакторним інформаційно-технологічним процесом, в якому задіюється велика кількість різнотипових інформаційних джерел з обширними наборами технічних і технологічних властивостей та характеристик, і передбачає врахування чисельних наборів найрізноманітніших параметрів [42]. Укрупнено подаватимемо такий інформаційно-технологічний супровід у формі семи послідовних функціональних етапів, а саме:

Етап 1. Сенсорика даних щодо витрат ресурсів. Етап реалізується на базі IT_{IoT} за допомогою давачів з використанням лічильників, інтегрованих в муніципальні ресурсні мережі.

Етап 2. Попередня підготовка даних. Етап реалізується на базі IT_{FC} і реалізує процедури співставлення зібраних колекцій даних з результатами прогнозів, отриманих з допомогою відповідних програмно-алгоритмічних засобів.

Етап 3. Передавання даних до REST-сервісу (REST, англ. Representational State Transfer). На цьому етапі колекції даних з використанням IT_{MT} та Інтернет передаються до REST-сервісу, інтегрованого з IT_{CC} на базі хмарної ІТР.

Етап 4. Зберігання даних. На цьому етапі отримані з використанням REST-сервісу дані зберігаються у нормалізованих відношеннях БД та СД з використанням IT_{IM} .

Етап 5. Комплексне опрацювання сформованих колекцій даних. На цьому етапі дані щодо витрат відповідних ресурсів опрацьовуються з використанням аналітичних та статистичних методів IT_{IDP} .

Етап 6. Підготовка рекомендацій. На даному етапі з використанням IT_{DSS} відбувається розроблення рекомендацій щодо реагування на зміни в станах ресурсних мереж, режими використання ресурсів, вартості послуг та діяльності провайдерів.

Етап 7. Візуалізація. На цьому етапі здійснюється візуальне подання статистичних даних щодо використання ресурсів та спожитих послуг і надання рекомендацій. Етап реалізується з використанням IT_{MT} та інтернет-застосунків.

На рисунку 3.15, у вигляді UML «Діаграми діяльності», подано послідовність етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів у соціокомунікаційних мережах «розумних міст».

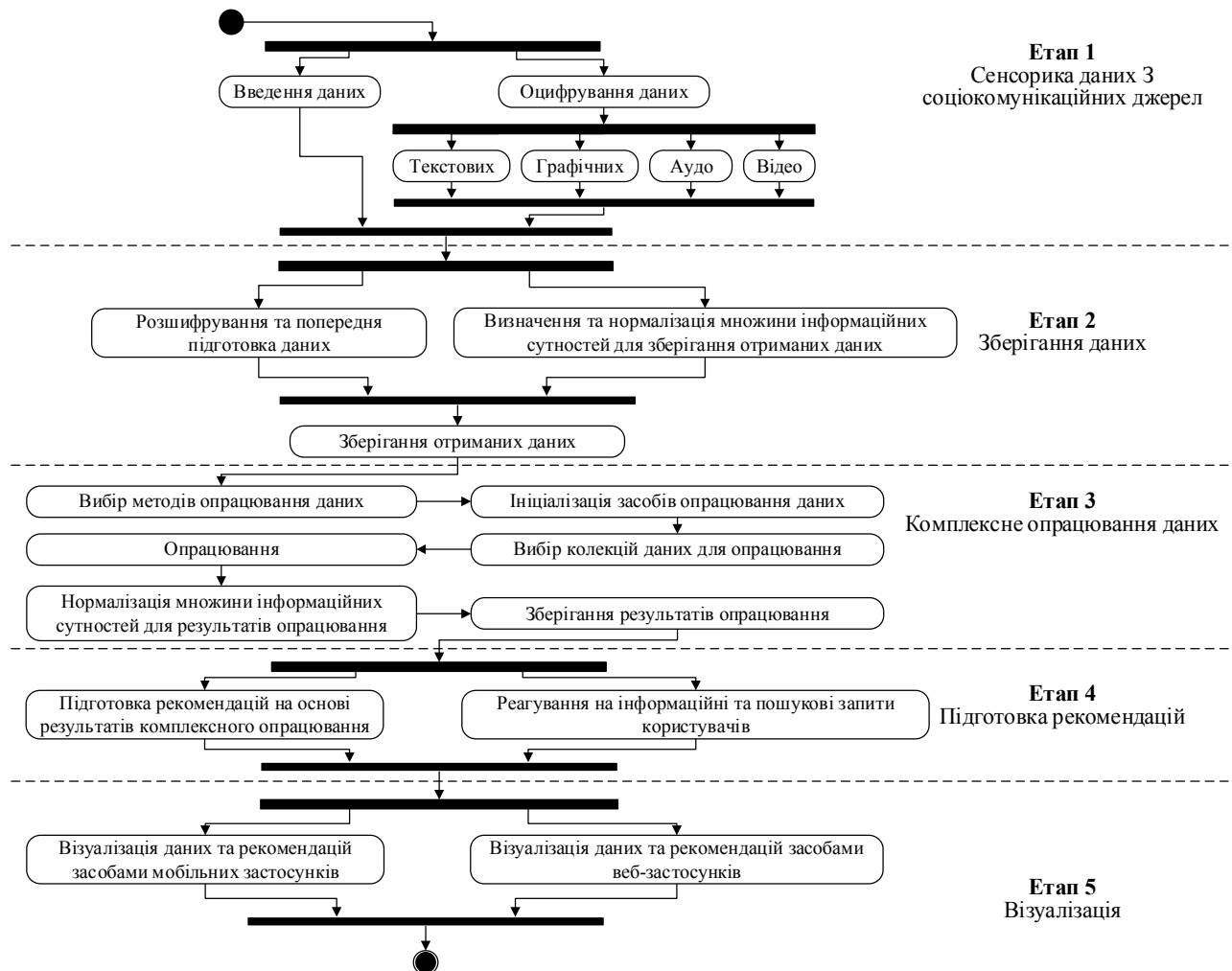


Рисунок 3.15 – Послідовність етапів інформаційно-технологічного супроводу процесів у соціокомунікаційних мережах «розумних міст»

Процес сенсорики, ввідбору та реєстрації даних у соціокомунікаційних мережах «розумного міста», подібно до процесів у ресурсних мережах, є складним, багатокроковим, ітеративним процесом, що включає велику кількість різнотипових інформаційних джерел з обширним переліком властивостей та характеристик, в свою чергу потребує врахування великої кількості параметрів та передумов, укрупнено складається з п'яти послідовних функціональних етапів.

Етап 1. Сенсорика, ввідбір та реєстрація даних з соціокомунікаційних джерел. Для безпосереднього введення даних використовуються ПАК

розгорнуті на мобільних пристроях (IT_{MT}) або ПК (Персональний комп'ютер). Етап реалізується на основі процедур оцифрування даних з текстових, графічних, аудіо та відео джерел з використанням IT_{CC} , що інтегровані на основі хмарної ІТР.

Етап 2. Зберігання даних. На цьому етапі зібрані колекції даних зберігаються у нормалізованих БД та СД розгорнутих з використанням IT_{IM} та IT_{CC} .

Етап 3. Комплексне опрацювання. Зібрані у соціокомунікаційному середовищі колекції даних опрацьовуються з використанням аналітичних та статистичних методів IT_{IDP} .

Етап 4. Підготовка рекомендацій. На цьому етапі з використанням IT_{DSS} відбувається розроблення рекомендацій щодо задоволення інформаційних потреб та формування відповідних пошукових запитів користувачів.

Етап 5. Візуалізація. На цьому етапі здійснюється візуальне подання результатів опрацювання запитів користувачів і розроблених рекомендацій. Етап реалізовується за допомогою IT_{MT} , веб-інтерфейсів та інтернет-застосунків.

3.5 Архітектура інформаційно-технологічних платформ «розумного міста»

З використанням запропонованих в дисертаційній роботі методів та інформаційних технологій розроблена архітектура ІТР інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в міських ресурсних мережах. Проведення комплексу робіт щодо практичної апробації результатів дослідження в контексті розроблення ІТР для супроводу процесів, що протікають в ресурсних мережах «розумного міста», виконувалось на основі шестирівневої архітектури [31] (див. рисунок 3.16) з залученням процедури багатокритеріального вибору архітектури програмного забезпечення на основі динамічної корекції атрибутів якості [12], котра включає: рівень сенсорики, мережевий рівень, рівень отримання, рівні сховища (storage), обробки та візуалізації. Рівень сенсорики, в свою чергу, умовно поділений на три підрівні.

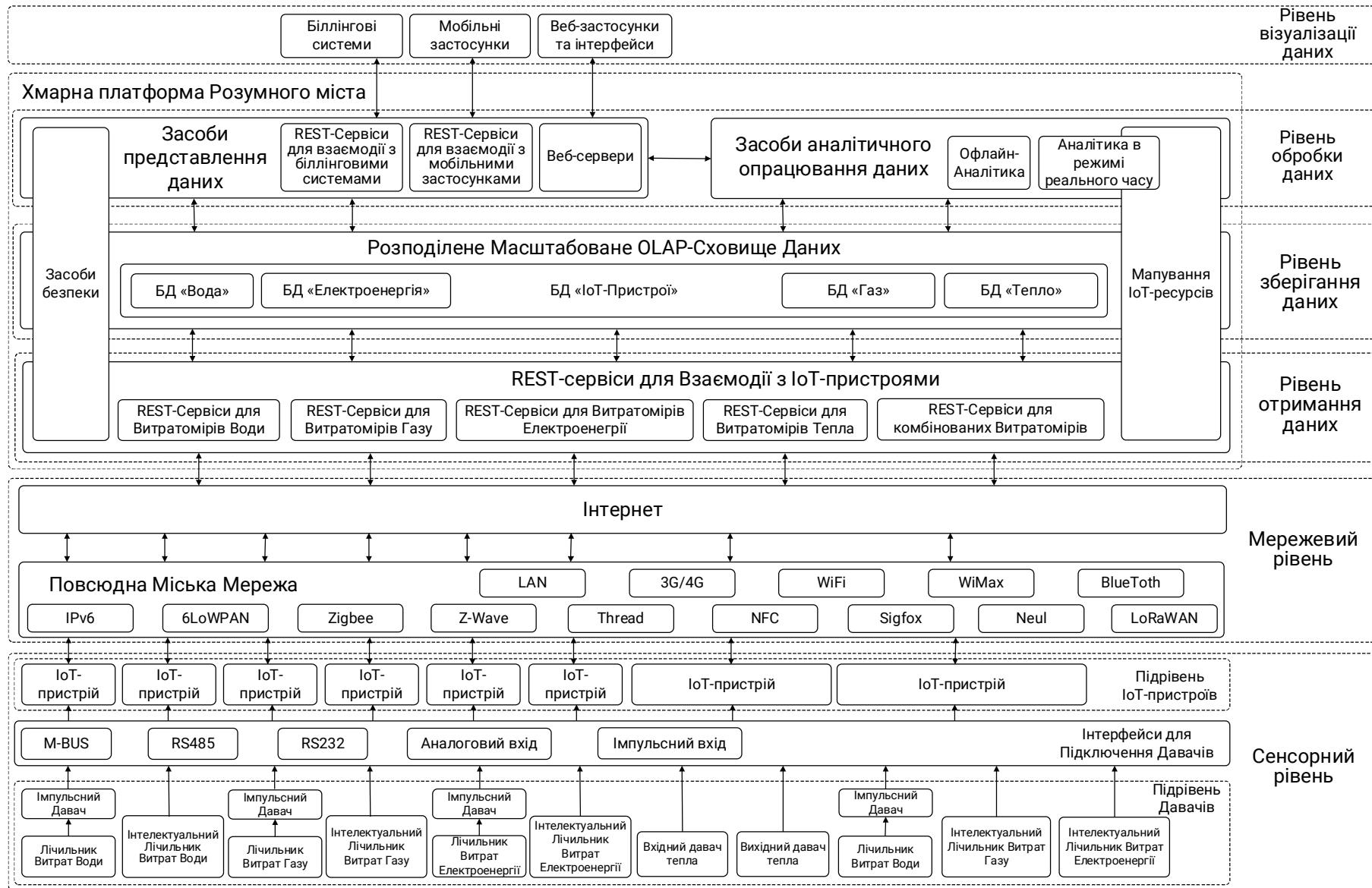


Рисунок 3.16 – Архітектура ІТР інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в ресурсних мережах «розумного міста»

Де підрівень давачів містить лічильники витрат води, газу, електроенергії та тепла, інтегровані у відповідні ресурсні мережі «розумного міста». При цьому передбачена можливість використання як механічних, так і інтелектуальних лічильників витрат спожитих ресурсів та послуг. Лічильники системно підключаються до IoT-пристроїв за допомогою промислового протоколу M-BUS, інтерфейсів RS485 та RS232, аналогових та імпульсних входів представлених на відповідному підрівні [17].

На наступному підрівні подані IoT-пристрої, при цьому передбачається, що можуть бути інстальовані різні типи IoT-пристроїв з підключеними лічильниками. Поданий на рис. 4.7 мережевий рівень містить повсюдну міську мережу, котра за допомогою LAN, 3G/4G, WiFi, WiMax або BlueTooth та комунікаційних технологій IPv6, 6LowPAN, Zigbee, Z-Wave, Thread, NFC, Sigfox, Neul та LoRaWAN [9] забезпечує доступ IoT-пристроїв до мережі Інтернет.

Наступні три рівні реалізовані на основі хмарної платформи «розумного міста». На рівні отримання даних реалізовані REST-сервіси для взаємодії з IoT-пристроями [46]. Згенеровані на цьому рівні набори даних поступають на наступний рівень та зберігаються в розподіленому масштабованому СД, в якому для кожного IoT-пристрою генерується відповідний набір інформаційних сутностей, які групуються в тематичних базах даних [45].

На рівні опрацювання даних згруповані відповідні засоби аналітичного опрацювання та подання даних, які використовуються для взаємодії з розміщеними на рівні візуалізації даних білінговими системами, мобільними і веб-застосунками та інтерфейсами. Подані в узагальненій архітектурі ІТР «розумного міста» засоби безпеки та кластер технологій мапування IoT-ресурсів забезпечують реалізацію процедур безпеки, розмежування прав доступу та ідентифікації IoT-пристроїв.

Архітектуру ІТР консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста» (див. рисунок 3.17) розроблено на основі обчислювальної архітектури надання контекстно-залежних послуг у «розумних містах».



Рисунок 3.17 – Архітектура ІТР консолідованого соціокомунікаційного інформаційного ресурсу «розумного міста»

Розширена за рахунок реалізації контекстно-залежних можливостей реагування на вимогу користувача багаторівнева архітектура може використовуватися для створення відповідної платформи на базі SaaS (англ. Software as a Service) та PaaS (англ. Platform as a Service). У випадку побудови моделі сервісу він трансформується у рішення PaaS, на базі якого може формуватись набір інших послуг. У випадку використання архітектури для створення сервісу, який безпосередньо взаємодіє з користувачами, застосунок трансформується у рішення SaaS.

На сенсорному рівні розміщено різнотипові джерела соціокомунікаційних колекцій даних, а наступний рівень містить інтеграційну платформу гібридної хмарної інфраструктури, котра реалізує функції отримання, імпорту та зберігання даних. Зібрані дані аналізуються та в адаптуються до вимог конкретних задач засобами наступного рівня [32].

Для уніфікації процедур взаємодії та обміну даними на рівні опрацювання даних викорисовуються стандарти OGC OWS, ISO 19100 series, SOS та ISO 19115. А на рівні компонування сервісів для цього використано стандарти WF Management, OASIS, W3C, OGC, OGC OWS та ISO 19100 series. В процесі передачі даних на вищі рівні, кожен з шарів запропонованої архітектури вносить свій вклад в опрацювання контекстної інформації. Однією із ключових особливостей поданої архітектури є включення до її складу контекстно-залежних компонент на різних рівнях з метою постійної координації процесів передавання вертикальних потоків даних та процедур зберігання асоційованої контекстності інформації [33].

Шар компонування сервісів містить службові та робочі процеси, визначає джерела даних і зв'язує з компонентами опрацювання, забезпечуючи обчислювальну платформу для реалізації контекстно-залежних послуг, а шар сервісних застосунків, в свою чергу, використовує результати та сервісні служби нижчого шару у вигляді конкретних інструментів.

Рівень управління та інтеграції використовується для автоматизації розподілу потоків відфільтрованих даних та кортежів даних між горизонтальними шарами. Це, в свою чергу, слугує гарантією того, що отримані результати в одному шарі будуть адекватно пов'язані між собою і

синтаксично правильно передані на інший шар. Зазначений рівень реалізує процеси управління і зменшує затрати часу на управління багаторівневою архітектурою. Безпековий рівень реалізує функції аутентифікації, авторизації та аудиту процесів використання даних і надання послуг.

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано метод опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста», який, на відміну від існуючих, враховує різнотипову природу міських мережевих ресурсів. Це, в свою чергу, дало можливість формувати ефективні рекомендації щодо оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж і взаємодії споживачів та муніципальних адміністрацій з групами постачальників відповідних послуг.

2. Розроблено метод вибору групи засобів аналітичного опрацювання «Великих даних», сформований з використанням оригінальної характеристичної множини атрибутів. Метод в основі базується на відомому методі аналізу ієрархій.

3. Розроблено метод вибору інформаційно-технологічної платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних, побудований на основі методу експертних оцінок, в основу якого закладена процедура попарних порівнянь варіантів.

4. З використанням перелічених методів та на основі запропонованої в другому розділі інформаційної технології багатовимірного аналізу даних розроблено інформаційну технологію супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, яка подана у вигляді технологічного ланцюжка та відповідних діаграм діяльності. Спроектовано узагальнену архітектуру інформаційно-технологічних платформ, призначених для реалізації різнотипових інформаційних систем, зорієнтованих на втілення концепту «розумного міста», котрі цілісно та системно поєднують усі етапи інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

РОЗДІЛ 4. МАКЕТУВАННЯ ПРОТОТИПІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МІСЬКИХ РЕСУРСНИХ ТА СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

В четвертому розділі подано опис розроблених прототипів ПАК, які реалізують ІТ супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумних міст» та є складовими компонентами в побудові відповідних ІС. Наведено алгоритми їх функціонування та розкрито ключові особливості програмних реалізацій, розроблених на основі поданих у попередніх розділах моделей та методів. Зокрема, прототипи ПАК розгорнуто на основі запропонованих у другому розділі дисертаційної роботи прототипів сховища даних, сформованих на основі гіперкубів з використанням запропонованої інформаційної технології багатовимірного аналізу даних. У прототипі ПАК супроводу процесів у міських ресурсних мережах реалізовано функціональні можливості реагування на зміну станів з використанням запропонованого у попередньому розділі методу опрацювання подій в міських ресурсних мережах. Також у зазначеному прототипі на основі процедур аналітичного опрацювання реалізовано функціональні можливості надання рекомендацій щодо підвищення ефективності використання ресурсів, спрямовані на зменшення фінансових витрат та зниження навантаження на ресурсні мережі.

4.1 Функціональне призначення інформаційних систем для міських ресурсних та соціокомунікаційних мереж

Запропоновані у попередніх розділах моделі, методи та ІТ стали основою для розроблення двох прототипів ІС супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста». Основне призначення розроблених прототипів ІС – практичне відпрацювання базових процесів інформаційно-технологічної підтримки ресурсних мереж «розумного міста» з

метою своєчасного якісного постачання та ефективного використання ресурсів і забезпечення належного рівня відповідних сервісів. Зокрема йдеться про:

1. Надання вичерпної та якісної інформації щодо переліку та характеристики облікованих величин, які використовуються для формування адекватного опису процесів, що протікають у міських ресурсних мережах.

2. Надання вичерпної та якісної інформації щодо класифікації, переліку та характеристик давачів, які використовуються в процесах відслідковування облікових величин, їх характеристик та властивостей.

3. Надання вичерпної та якісної інформації щодо класифікації та типів IoT-пристроїв для збирання та передавання даних від давачів, інтегрованих в міські ресурсні мережі.

4. Надання вичерпної та якісної інформації щодо класифікації, переліку, характеристик та властивостей входів для підключення давачів.

5. Надання вичерпної та якісної інформації щодо фізичних IoT-пристроїв та підключених до їхніх входів, інтегрованих в міські ресурсні мережі, давачів.

6. Надання вичерпної та якісної інформації щодо постачальників послуг міських ресурсних мереж.

7. Надання вичерпної та якісної інформації щодо споживачів послуг міських ресурсних мереж.

8. Облік показників постачання та споживання послуг міських ресурсних мереж, формування статистичних та підсумкових відомостей.

9. Імпорт попередньо збережених показників постачання та споживання послуг у міських ресурсних мережах.

10. Моніторинг поточного стану міських ресурсних мереж.

11. Вироблення та обґрунтування рекомендацій щодо взаємодії з постачальниками ресурсів та послуг.

12. Вироблення та обґрунтування рекомендацій щодо оптимізації режимів використання ресурсів та надання відповідних послуг.

Основне призначення розробленого прототипу ІС, що функціонують на базі соціокомунікаційних мереж «розумного міста», є відпрацювання базових

принципів побудови високотехнологічних процесів надійного та низьковартісного зберігання та ефективного опрацювання колекцій даних установ соціальної пам'яті та інших організацій соціокомунікаційного середовища «розумного міста» й опрацювання запитів та надання послуг користувачам, а саме:

1. Надання вичерпної та якісної інформації щодо класифікації міських соціокомунікаційних ресурсів інститутів соціальної пам'яті, зокрема архівів, музеїв, бібліотек, ЗМІ і т.п.

2. Надання вичерпної та якісної інформації щодо переліку постачальників міських соціокомунікаційних послуг, їх опису та характеристик.

3. Надання вичерпної та якісної інформації щодо переліку міських соціокомунікаційних ресурсів, їх опису та характеристик.

4. Надання вичерпної та якісної інформації щодо класифікації інформаційних сутностей, які використовуються в процесах зберігання даних щодо міських соціокомунікаційних мереж та середовищ.

5. Надання вичерпної та якісної інформації щодо типів інформаційних сутностей, які використовуються в процесах зберігання даних щодо міських соціокомунікаційних мереж та середовищ.

6. Зберігання даних щодо колекцій даних міських соціокомунікаційних мереж та середовищ.

7. Імпорт попередньо збережених даних щодо колекцій міських соціокомунікаційних ресурсів.

8. Моніторинг поточного стану міських соціокомунікаційних ресурсів.

9. Надання вичерпної та якісної інформації щодо споживачів послуг міських соціокомунікаційних ресурсів.

10. Опрацювання запитів споживачів щодо даних, які розміщені в колекціях міських соціокомунікаційних ресурсів.

Після визначення переліку функціональних вимог було проведене розроблення контекстних діаграм відповідних прототипів ІС.

4.2 Контекстні діаграми інформаційних систем

Розроблення прототипів ІС супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» розпочиналось з найвищого абстрактного рівня опису, а саме контекстної діаграми, що подається у термінах стандарту IDEF0 (див. рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Контекстна діаграма ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста»

В процесі дослідження проаналізовано відповідну контекстну діаграму з позицій складових компонентів концепту «розумне місто» та комплексів інформаційних і комунікаційних технологій та виділено базові входні сутності. Була проведена декомпозиція контекстної діаграми (див. додаток Ж) та виконання подання послідовності етапів опрацювання інформації щодо витрат у ресурсних мережах «розумного міста».

Розроблення прототипу ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»» також проводилось, починаючи з найвищого абстрактного рівня опису, а саме контекстної діаграми поданої у термінах стандарту IDEF0 (див. рисунок 4.2).

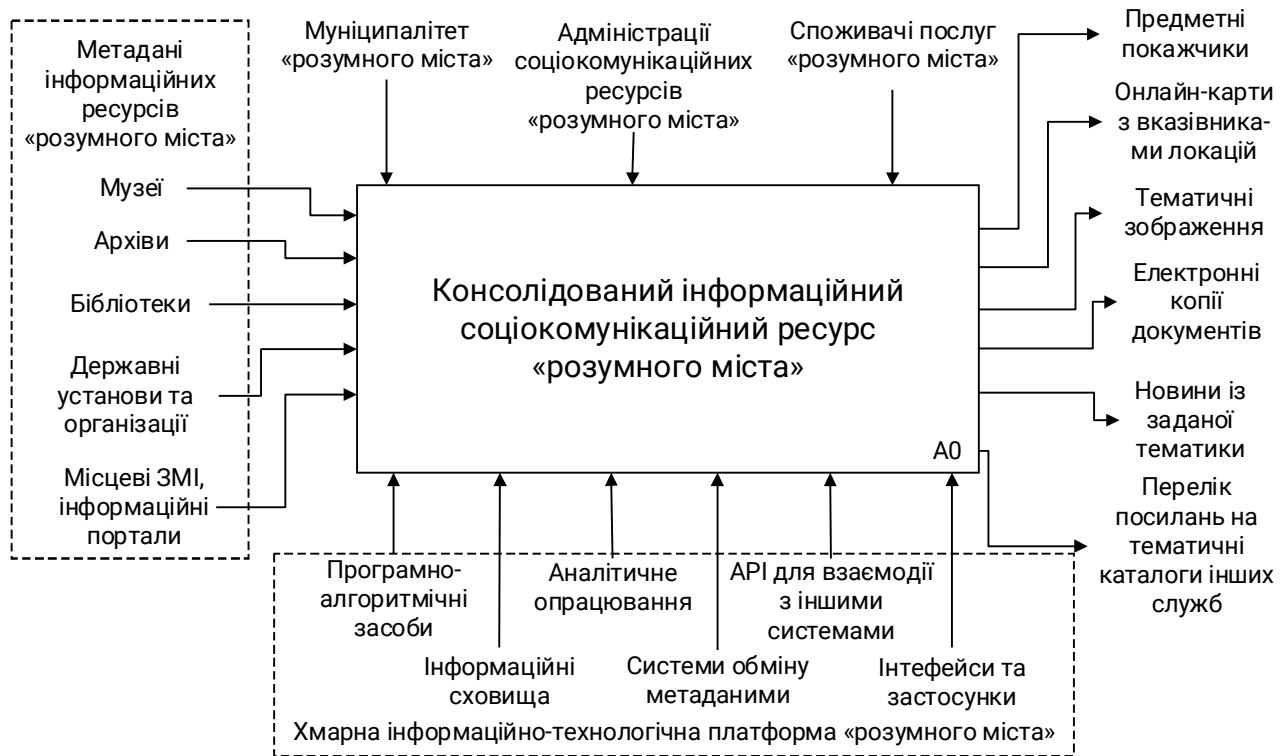


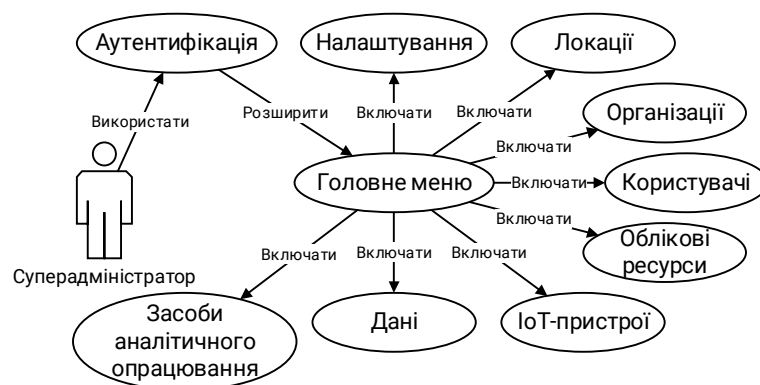
Рисунок 4.2 – Контекстна діаграма ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»»

В якості базових вхідних сутностей консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста» були зафіксовані метадані інформаційних ресурсів музеїв, архівів, бібліотек, державних установ та адміністрацій, місцевих ЗМІ та обширної множини інформаційних порталів.

4.3 Діаграми прецедентів інформаційних систем

Після декомпозиції вищих рівнів ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста», для формування деталізованих наборів функціональних можливостей виконано

розроблення відповідних діаграм прецедентів. На рисунку 3.1 (див. додаток 3) подані ключові актори цієї ІС, а саме «Користувач», «Оператор», «Модератор», «Адміністратор» та «Суперадміністратор». На рисунку 4.3 подано діаграму прецедентів актора «Суперадміністратор», котрий має найбільший набір доступних в ІС привілеїв. Розроблені в процесі дослідження деталізовані діаграми прецедентів для ключових акторів ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» опубліковано в [10] та подано в додатку 3.



Рисунк 4.3 – Діаграма прецедентів актора «Суперадміністратор» ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах

Для ІС «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»» зафіксовано наступний перелік акторів: «Неавторизований користувач», «Авторизований користувач», «Редактор організації», «Керівник організації», «Модератор», «Адміністратор». Оскільки ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»» відноситься до категорії різнопланових та поліфункціональних, проектування діаграми прецедентів UseCases проведено на прикладі актора «Адміністратор» наділеного найширшим переліком прав та привілеїв [5] (див. рисунок 4.4).

Деталізовані діаграми прецедентів для ключових акторів ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»» подано в додатку І.



Рисунок 4.4 – Діаграма прецедентів для актора «Адміністратор» ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»»

4.4 Розроблення прототипів баз даних для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах

Структура БД системи інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста» сформована на основі прототипу СД для зберігання даних щодо міських ресурсних мереж (див. рис. 2.11) та поданої в параграфі 3.1 моделі «Сутність-зв'язок» БД ресурсних мереж «розумного міста» (див. рис. 3.1). Узагальнена структура відповідної БД [10] подана на рисунку 4.5 а її деталізована структура наведена в додатку К.

При формуванні структури БД інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» слід враховувати швидкість перебігу процесів зростання обсягів даних. Базовий кортеж таблиць БД складається з понад тридцяти п'яти сутностей, які містять понад 125 характеристик. Окрім того, для кожного доданого в систему IoT-пристрою автоматично генерується кортеж з більш як понад п'яти сутностей, які містять більше двадцяти характеристик. Окремо генеруються описи сутностей та характеристики призначених для зберігання результатів аналітичного опрацювання накопичених в системі даних.

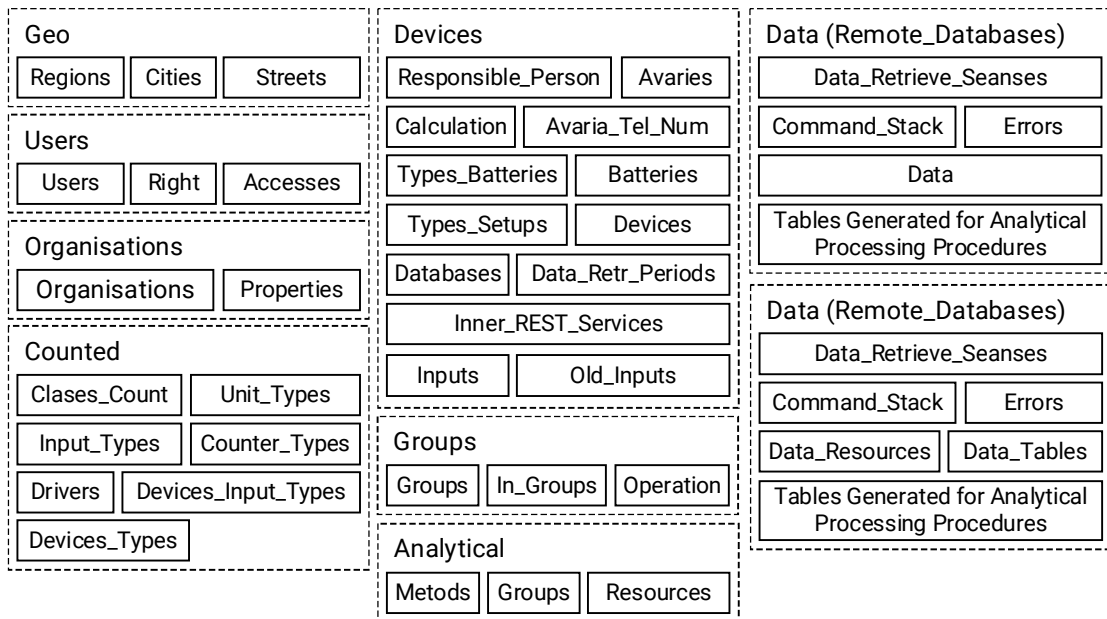


Рисунок 4.5 – Узагальнена структура БД системи інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста»

Обсяги БД в реалізації інформаційної системи супроводу процесів у ресурсних мережах середнього за розмірами «розумного міста» з населенням орієнтовно 200-500 тисяч та з 150 тисячами домогосподарств вимірюються сотнями гігабайт, та мають чітку тенденцію стрімкого зростання під час формування нових колекцій даних.

Відповідно до Закону України про житлово-комунальні послуги [216], яким регламентуються умови надання ресурсних комунальних послуг, в таблиці PRE_providers містяться записи щодо потенційних постачальників таких послуг. В таблиці PRE_providers_attributes містяться додаткові характеристики постачальників комунальних послуг «розумного міста».

Узагальнена структура БД консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «м'яких» доменів «розумного міста» [10], подана на рисунку 4.6, сформована на основі прототип СД для зберігання даних щодо міських соціокомунікаційних ресурсів (див. рис. 2.12). Діаграмно подані назви таблиць БД, що призначені для зберігання відомостей про відповідні категорії сутностей.

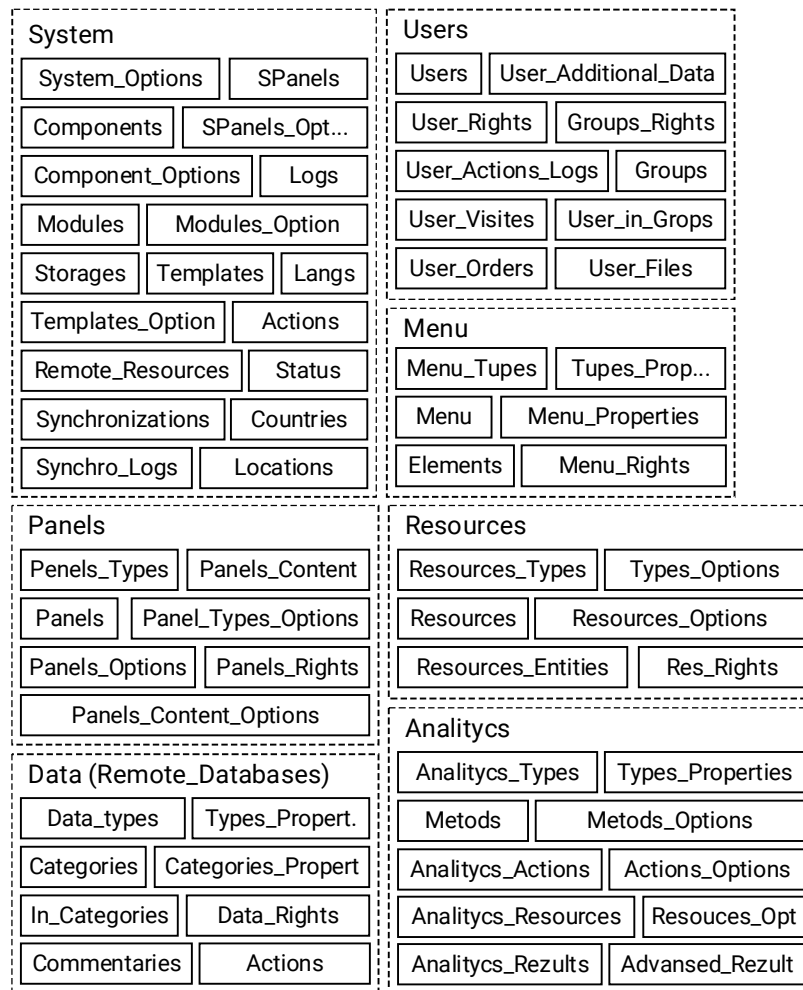


Рисунок 4.6 – Узагальнена структура БД консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста»

Група таблиць «System» призначена для зберігання відомостей щодо параметрів системи, її компонентів, модулів, шаблонів інтерфейсу, системних панелей та процедур (Actions), країн та геопросторових локацій. Для окремих типів сутностей, таких як панелі, компоненти, модулі, шаблони, ресурси і т. ін. доступні спеціалізовані параметри, інформація щодо яких зберігається в окремих таблицях. Деталізована структура відповідної БД подана в додатку Л.

Базовий кортеж таблиць БД налічує понад п'ятдесят сутностей призначених для зберігання відомостей щодо більш як п'ятисот характеристик.

Окрім того, для кожного інформаційного ресурсу, зареєстрованого в системі, динамічно генерується відповідний кортеж з понад десяти сутностей, призначений для зберігання відомостей по більш як шістдесяті характеристиках.

Окремо та динамічно створюються таблиці для зберігання відомостей щодо результатів аналітичного опрацювання накопичених в системі даних. Реалізований в процесі досліджень прототип програмно-алгоритмічного комплексу консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу середнього за розмірами міста з населенням орієнтовно 200–500 тисяч, в якому функціонують музеї, бібліотеки, архіви, урядові установи та регіональні ЗМІ, має БД, обсяги яких вимірюються сотнями гігабайт, а у файлових сховищах де зберігаються оцифровані фото, відео та аудіо матеріали, обсяги БД можуть сягати десятків та навіть сотень терабайт. Обсяги таких БД та файлових сховищ стрімко зростають при формуванні та накопиченні нових колекцій, фондів та порталів.

4.5 Структурно-функціональні схеми прототипів програмно-алгоритмічних комплексів

ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста», розроблено на основі трирівневої архітектури (див. рисунок 4.7). Це дало можливість розділити ПАК інформаційно-технологічного супроводу перебігу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» на окремі взаємопов'язані частини, між якими розподілені функції системи та розмежувати рівні відображення, застосувань та даних. Трирівнева архітектура ПАК включає:

- рівень відображення, на якому користувачі сприймають інформацію;
- рівень застосувань – рівень, на якому розміщені засоби управління програмним комплексом, зокрема компоненти та підсистеми;
- рівень даних – рівень зберігання даних, тут розташовані БД, котрі входять до СД та попередньо збережені колекції даних.

Функціонально виділено програмно-алгоритмічні компоненти, котрі спрямовані на виконання операцій з наборами інформаційних сутностей, та підсистеми, котрі орієнтовані на виконання завдань з наборами даних та фізичними об'єктами.

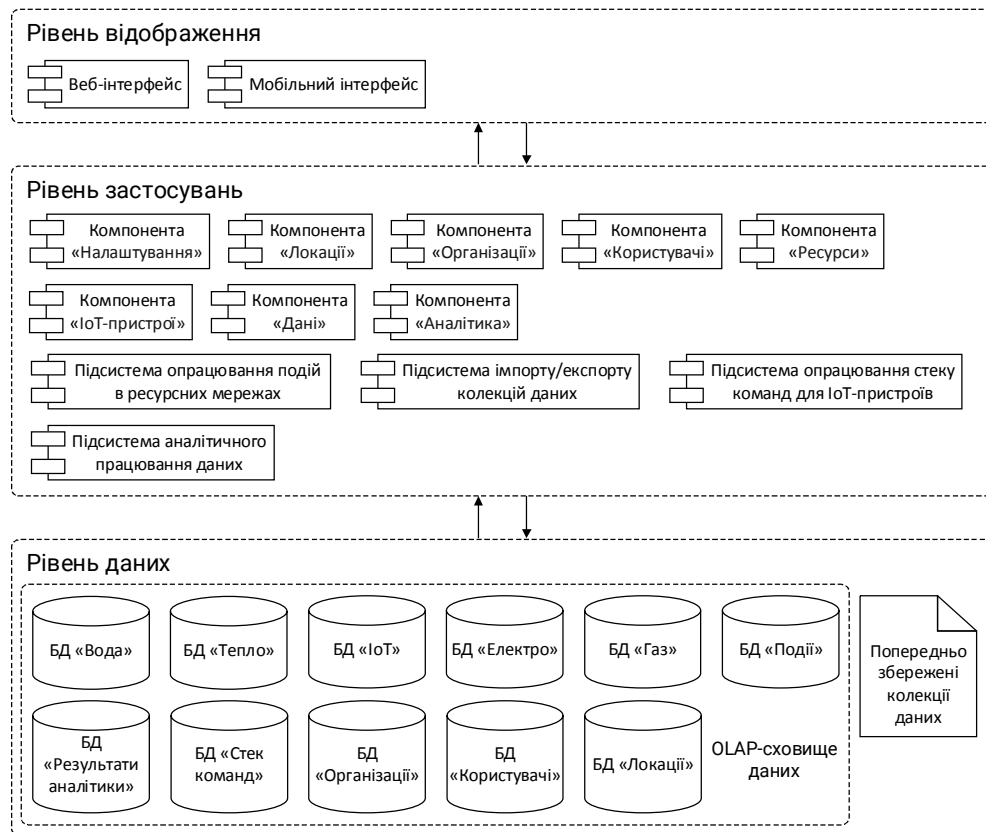


Рисунок 4.7 – Структура ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в ресурсних мережах «розумного міста»

Підсистема опрацювання подій в ресурсних мережах «розумного міста» реалізує функцію оперативного реагування на зміну станів ресурсних мереж. Результати функціонування підсистеми зберігаються в БД «Події».

Підсистема імпорту/експорту колекцій даних, містить функції визначення структур даних та забезпечує реалізацію процедур імпорту попередньо збережених колекцій до спроектованого в попередньому параграфі OLAP СД. Водночас, підсистема призначена для експорту обраних колекцій даних у відкриті формати сумісні з вибраною, при допомозі поданого в параграфі 3.3 методу, аналітичною ІТР «IBM Bigdata Analytics».

Підсистема взаємодії з IoT-пристроями реалізує функцію генерації та надсилання керуючих конфігураційних команд, призначених для зміни режимів роботи та налаштування інтегрованих у міське середовище IoT-пристроїв. Дані щодо функціонування підсистеми зберігаються в БД «Стек команд», котра в

подальшому використовується REST-сервісами, які забезпечують процеси взаємодії з IoT-пристроями.

Підсистема аналітично опрацювання даних реалізує функцію налаштування та використання засобів аналітичного опрацювання. Дані, сформовані в результаті функціонування підсистеми, зберігаються в БД «Результати аналітики».

ПАК прототипу інформаційної системи «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»» [7] теж розроблено на основі тривірневої архітектури (див. рисунок 4.8) з структурно-логічними рівнями аналогічними до поданих на рис. 4.7.

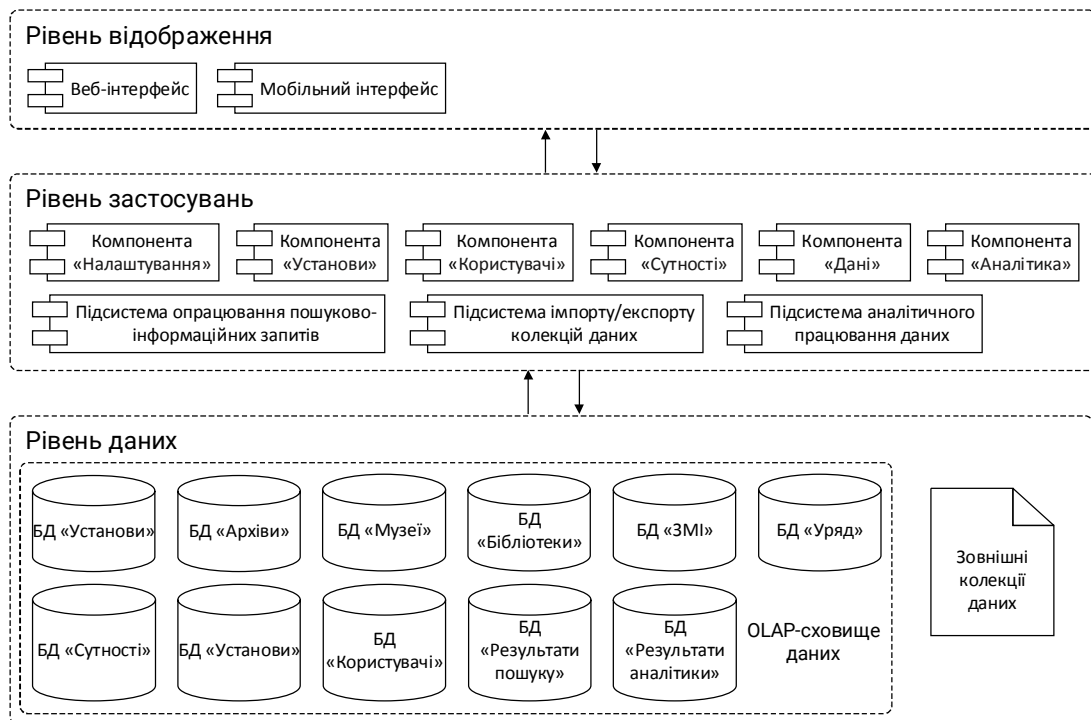


Рисунок 4.8 – Структура ПАК прототипу інформаційної системи «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»»

Підсистема опрацювання запитів призначена для виконання операцій комплексного контекстно-орієнтованого та налаштованого пошуку відомостей відповідно до критеріїв, сформованих користувачами

соціокомунікаційних послуг. Результати функціонування підсистеми зберігаються в БД «Результати пошуку».

Підсистема імпорту/експорту колекцій даних, реалізує функції визначення структури уніфікованих форматів на основі метаданих та імпорту зовнішніх колекцій даних до OLAP СД. При цьому в підсистемі закладено функціональні можливості експорту обраних даних у відкриті формати сумісні з аналітичною ІТР «IBM Bigdata Analytics», вибраною на основі методу запропонованого в параграфі 3.3.

Підсистема аналітично опрацювання даних, реалізує функції налаштування та використання інструментів аналітичного опрацювання колекцій даних, сформованих для вирішення задач на «м'яких» доменах «розумного міста». Результати функціонування підсистеми зберігаються в БД «Результати аналітики».

4.6 Особливості реалізації прототипів програмно-алгоритмічних комплексів для «розумних міст»

Клієнт-серверна архітектура прототипів ПАК (див. рисунок 4.9) дозволяє працювати як в локальному режимі з використанням локального програмного забезпечення веб-сервера, так і в мережевому режимі з використанням хостингу.

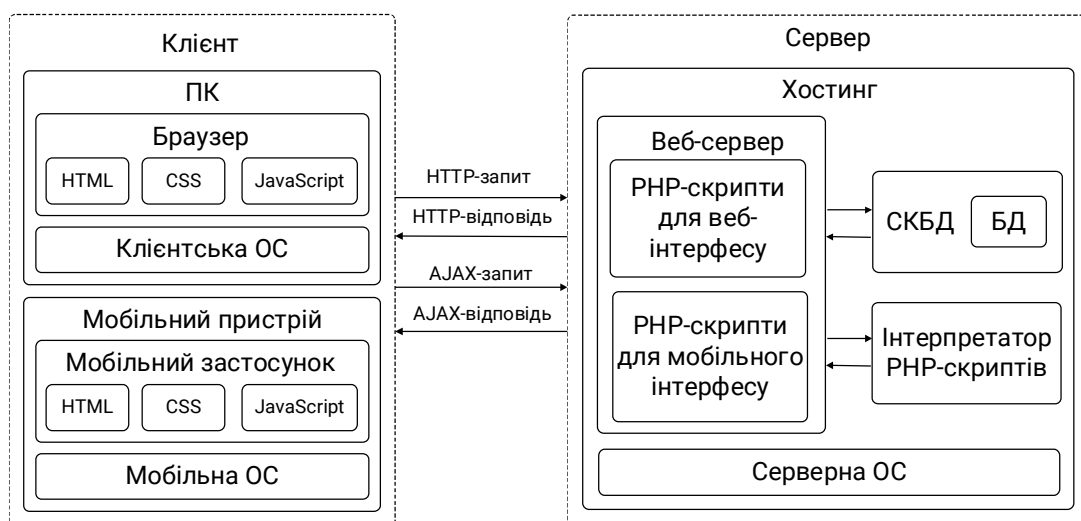


Рисунок 4.9 – Клієнт-серверна архітектура прототипів ПАК

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 (англ. Asynchronous JavaScript And XML, AJAX), що надає їм ряд переваг, зокрема йдеться про:

- зменшення трафіку, завдяки частковому оновленню веб-ресурсів;
- зниження навантаження на сервери завдяки зменшенню кількості запитів до БД;
- підвищення швидкості роботи мобільних та веб-інтерфейсів;
- розширення функціональності мобільних та веб-інтерфейсів.

Програмні реалізації прототипів ПАК виконано з використанням наступних інструментальних програмних засобів та мов програмування:

1. JavaScript – динамічна, об'єктно-орієнтована мова програмування, використовується для розроблення клієнтських сценаріїв мобільних та веб-інтерфейсів.

2. HTML – мова розмітки веб-сторінок, використовується для реалізації та мобільних та веб-інтерфейсів.

3. CSS – каскадні таблиці стилів, використовуються для оформлення мобільних та веб-інтерфейсів.

4. Adobe AIR – незалежне від платформи інтегроване операційне середовище для веб-застосунків. Використовується для реалізації мобільних версій інтерфейсів прототипів.

5. PHP – мова програмування, що використовується для опрацювання програмних кодів прототипів, формування запитів до БД, генерації динамічних PHP-сторінок мобільних та веб-застосунків.

6. MySQL – система керування БД, використовується для запису, вибірки та обробки даних.

7. Apache – відкритий веб-сервер для UNIX-подібних, MS Windows, Novell NetWare та інших ОС (Операційна система).

8. XAMPP – локальний сервер з використанням Apache, PHP та MySQL.

Для пришвидшення та підвищення надійнісних характеристик реалізації прототипів ПАК сформовано відповідні набори незалежних компонентів, кожний з яких використовується для реалізації відповідних функціональних наборів. Прототип ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають в ресурсних мережах «розумного міста», розроблено на базі інформаційної системи обліку телеметричних даних, основні відомості про яку подано в роботах [15], [16]. Прототип містить наступні функціональні компоненти: «Система/Налаштування», «Локації», «Організації/Користувачі», «Ресурси/Мережі», «IoT-пристрої», «Дані» та «Аналітика».

Структурно-функціональна діаграма індексних файлів ПАК «розумного міста» подана на рисунку 4.10.

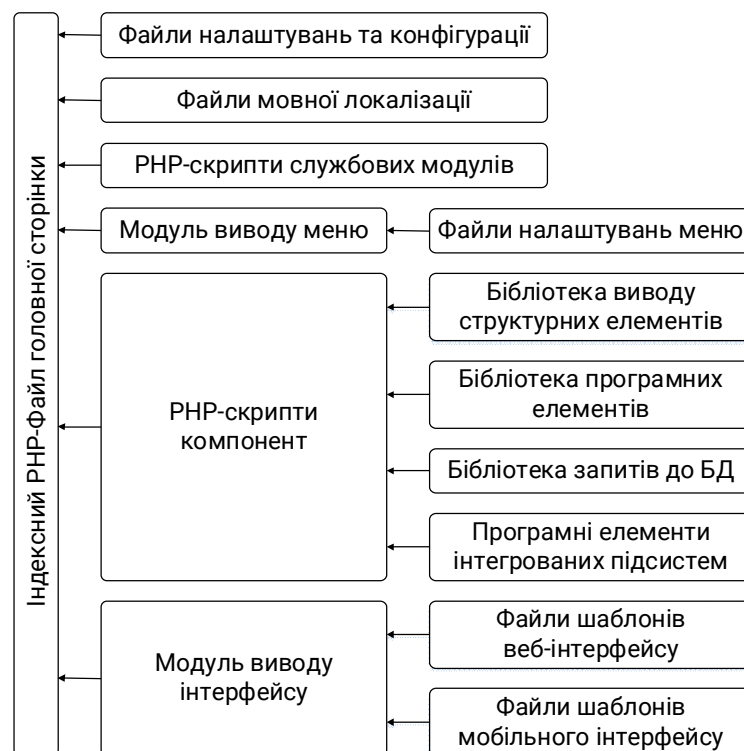


Рисунок 4.10 – Структурно-функціональна діаграма індексних файлів ПАК «розумного міста»

Прототип ПАК соціокомунікаційних мереж сформовано у вигляді інформаційної системи «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»», опис якого подано в роботах [27], [47] та містить

наступні функціональні компоненти: «Система/Налаштування», «Установи», «Профілі/Користувачі», «Інформаційні сутності», «Компоненти/Сервіси», «Аналітика», «Імпорт/Експорт» та «Дані».

Узагальнена структура діаграми діяльності індексних файлів прототипів ПАК «розумного міста» (див. рисунок 4.11) розроблена на основі структури індексних файлів поданої в публікації [16].

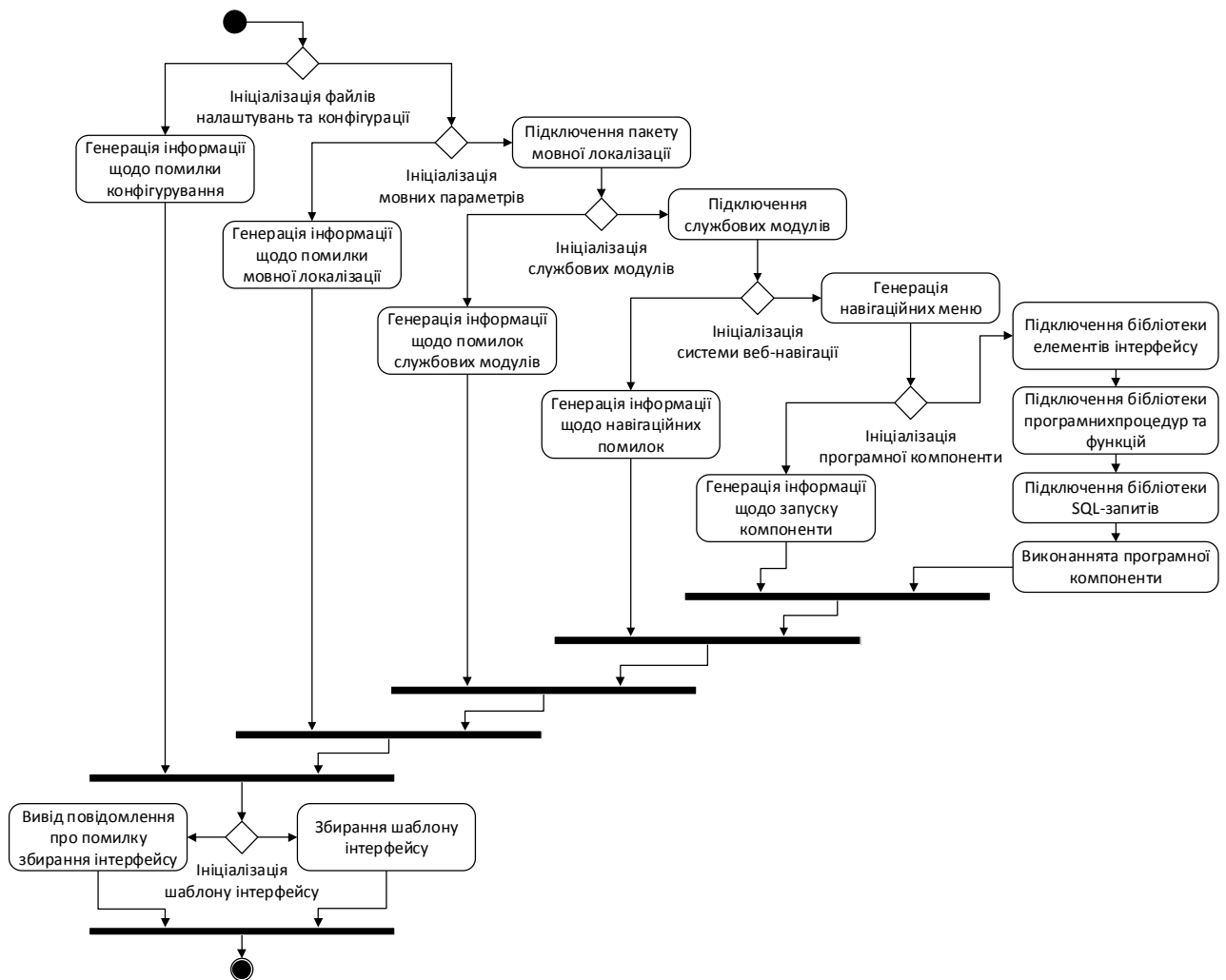


Рисунок 4.11 – Діаграма діяльності індексних файлів ПАК «розумного міста»

До індексних файлів підключаються всі структурні елементи ПАК. Зокрема файли налаштувань використовуються при розгортанні нових версій систем та перемиканні режимів відображення інформації. Програмний код типового індексного файлу ПАК подано в додатку Л.

Узагальнена діаграма діяльності програмної компоненти сформована на основі поданої в [19] структури (див. рисунку 4.12) та використовувалась в процесах розробки обох прототипів ПАК, що дозволило до певної міри уніфікувати процес розроблення програмного коду, що в свою чергу суттєво спростило ідентифікацію помилок, розширення функціоналу та вдосконалення архітектури загалом.

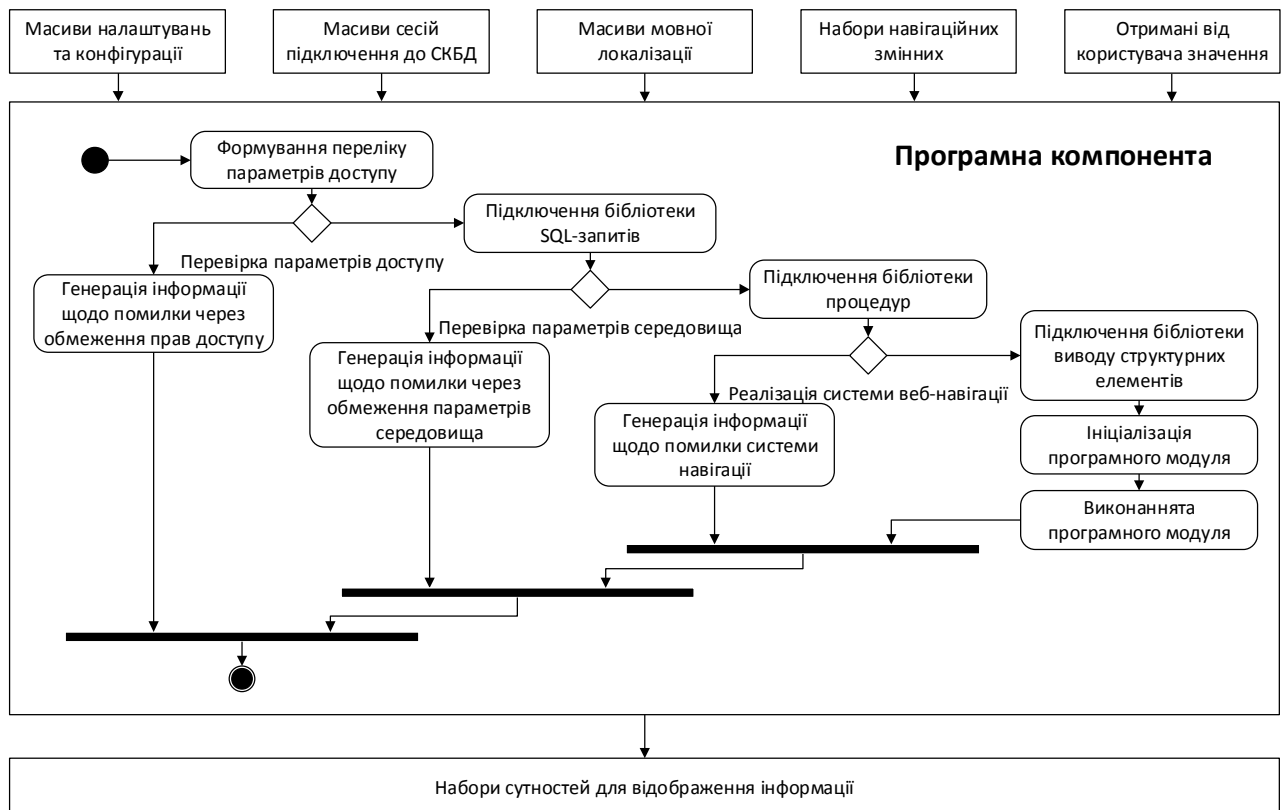


Рисунок 4.12 – Діаграма діяльності програмної компоненти прототипів ПАК «розумного міста»

Програмні компоненти [20] підключаються до індексного файлу, використовуючи результати попередньо виконаного програмного коду.

Файли конфігурації використовуються для встановлення режимів роботи програмних компонентів. Файли мовних локалізацій містять переклади всіх повідомлень та текстових пояснень системи і використовуються для швидкої зміни мовного інтерфейсу системи. Розлогий аналіз повної множини службових модулів подано в [18].

4.6.1 Інтерфейси прототипів програмно-алгоритмічних комплексів

Важливим елементом широкого спектру мобільних та веб-застосунків є користувацькі інтерфейси, які забезпечують візуальне подання інформації і призначені для швидкого та зручного її сприйняття та полегшення процесів її розуміння користувачами не залежно від набутого ними досвіду під час взаємодії з відповідними інформаційними системами. Відображення сторінок реалізовано за допомогою архітектурного шаблону MVC (Model View Controller) схему якого подано на рисунку 4.13.

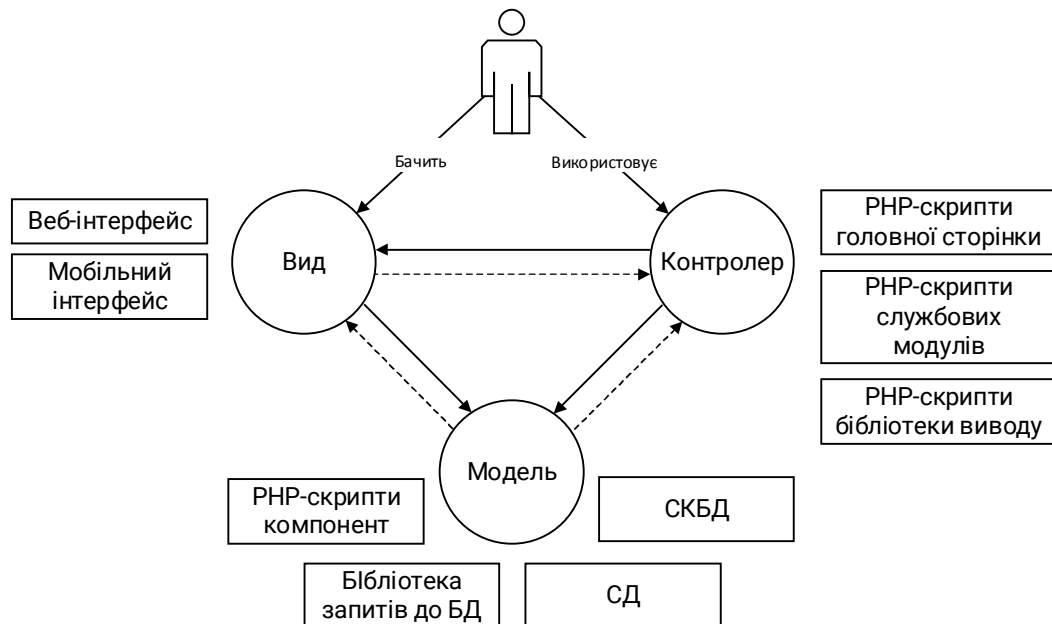


Рисунок 4.13 – Схема MVC-підходу, що використана під час при реалізації прототипу ПАК «розумного міста»

Для побудови мобільних та веб-інтерфейсів прототипів ПАК «розумного міста» в дослідженні використана мова розмітки HTML сумісно з каскадними таблицями стилів CSS, а динамічний функціонал при цьому реалізовано за допомогою засобів JavaScript. Для асинхронних запитів та взаємодії з HTML використовувався AJAX-підхід. Початкова сторінка веб-інтерфейсу прототипу ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» подана на рисунку 4.14.



Рисунок 4.14 – Початкова сторінка веб-інтерфейсу прототипу ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»

Головна сторінка поєднує сторінку запрошення для взаємодії з ПАК та ключові структурні елементи. Головне навігаційне меню містить посилання для компонентів ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста». При виборі компоненти «IoT-пристрої» відображається список доступних IoT-пристроїв (див. рисунок 4.15).

Тернопіль SmartCity

Sensors IoT HardDomains Ресурсні мережі
Вода Газ Тепло Електроенергія

Стартова Система/Налаштування Локації Організації Користувачі Ресурси/Мережі ІоТ-пристрої Дані/Імпорт Аналітика Вихід

Типи входів ІоТ-пристроїв Типи ІоТ-пристроїв Типи давачів ІоТ-пристрої

ІоТ-пристрої

Використовувати фільтр

Показати всі Будинковий пристрій Груповий пристрій Не передали дані протягом останніх 24 годин З відключеним опаленням

Показановсі ІоТ-пристрої (В системі зареєстровано 5652 пристроїв)

Назва/Адреса/ Коментар	Серійний №/ Система/Тип установки	На рахунок/ дата передачі рахунку	Дата завантаження даних	Статус	Дії ІоТ-пристр.
3201. ПНС В.Великого 4а м. Тернопіль, вул. В.Великого, д. 4а. Давачі	0078, Система 5, Груповий пристрій	723.15 17-06-2019 08:35:17	17-06-2019 08:35:10	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3202. Розвилка XB3 м. Тернопіль, вул. В.Великого, розвилка XB3. Давачі	0079, Система 5, Груповий пристрій	725.17 17-06-2019 08:36:24	17-06-2019 08:36:17	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3203. Розвилка XB5 м. Тернопіль, вул. В.Великого, розвилка XB5. Давачі	0080, Система 5, Груповий пристрій	254.32 17-06-2019 08:37:15	17-06-2019 08:37:08	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3204. Розвилка XB7 м. Тернопіль, вул. В.Великого, розвилка XB7. Давачі	0081, Система 5, Груповий пристрій	248.40 17-06-2019 08:38:25	17-06-2019 08:38:18	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3205. Розвилка XB8 м. Тернопіль, вул. В.Великого, розвилка XB8. Давачі	0082, Система 5, Груповий пристрій	253.67 17-06-2019 08:39:07	17-06-2019 08:39:01	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3206. В. Великого 6 вхід 1-2 під'їзд м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, вхід 1-2 під'їзд. Давачі	0083, Система 5, Груповий пристрій	258.15 17-06-2019 08:41:15	17-06-2019 08:41:08	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3207. В. Великого 6 вхід 1 під'їзд м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, вхід 1 під'їзд. Давачі	0084, Система 5, Груповий пристрій	631.27 17-06-2019 08:42:36	17-06-2019 08:42:29	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Груповий облік Видалити
3208. В. Великого 6, кв. 1 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 1. Давачі	A1DB-SBH_4K (Система 6), Квартирний пристрій	568.33 17-06-2019 08:43:12	17-06-2019 08:43:05	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3209. В. Великого 6, кв. 2 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 2. Давачі	A263-SBH_4K (Система 6), Квартирний пристрій	574.93 17-06-2019 08:44:39	17-06-2019 08:44:32	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3210. В. Великого 6, кв. 3 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 3. Давачі	A0F9-SBH_4K (Система 6), Квартирний пристрій	120.07 17-06-2019 08:45:05	17-06-2019 08:45:03	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3211. В. Великого 6, кв. 4 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 4. Давачі Опалення: 13360207	0305, Пробна MBUS4, Квартирний пристрій	526.53 17-06-2019 08:46:17	17-06-2019 08:46:10	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3212. В. Великого 6, кв. 5 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 5. Давачі	015D Система 5, Квартирний пристрій	676.18 16-06-2019 08:47:16	16-06-2019 08:47:11	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3213. В. Великого 6, кв. 6 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 6. Давачі	0186, Система 5, Квартирний пристрій	675.47 16-06-2019 08:48:36	16-06-2019 08:48:29	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити
3214. В. Великого 6, кв. 7 м. Тернопіль, вул. В.Великого, д.6, кв. 7. Давачі	A1BD-SBH_4K (Система 6), Квартирний пристрій	118.47 17-06-2019 08:48:17	17-06-2019 08:48:08	Відключено	Дані Регулювати Контролювати Історія Перегляд Видалити

Рисунок 4.15 – Веб-інтерфейс компоненти ІоТ-пристрої ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»

При виборі окремого ІоТ-пристрою відбувається автоматичне завантаження програмної компоненти «Дані» (див. рисунок 4.16) з інформацією щодо його характеристик, підключених давачів та отриманих колекцій даних.

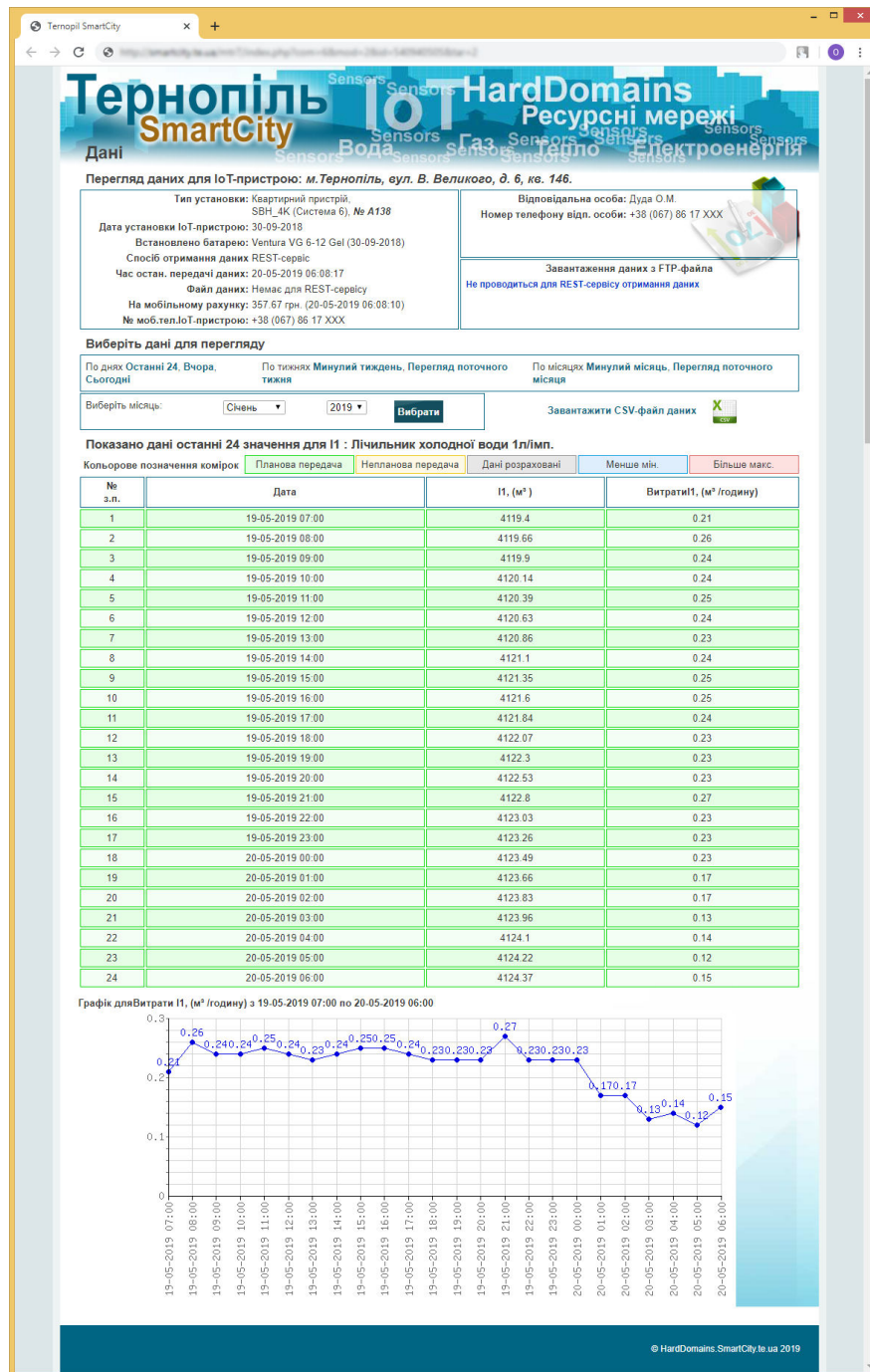


Рисунок 4.16 – Відображення інформації щодо конкретного IoT-пристрою з використанням веб-інтерфейсу

Відображення складових елементів операцій порівняльного аналітичного опрацювання колекцій даних з використанням методу опрацювання подій в міських ресурсних мережах для вузлової точки на прикладі постачання холодної води для одного під'їзду багатопверхового багатоквартирного комунального будинку подано на рисунку 4.17.

Тернопіль SmartCity

IoT HardDomains Ресурсні мережі

IoT-пристрої

Списки групового обліку для IoT-пристрою: 3207. В. Великого 6 вхід 1 підїзд

№ п.п.	Показник батьківського входу для групи пристроїв	Показники дочірніх входів для групи пристроїв: разом 36 елементів
1	Витрати для Імпульсний вхід І1: Лічильник холодної води 100л./імп.,	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 3208. В. Великого 6, кв. 1, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3209. В. Великого 6, кв. 2, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3210. В. Великого 6, кв. 3, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3211. В. Великого 6, кв. 4, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3212. В. Великого 6, кв. 5, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3213. В. Великого 6, кв. 6, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3214. В. Великого 6, кв. 7, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3215. В. Великого 6, кв. 8, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3216. В. Великого 6, кв. 9, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3217. В. Великого 6, кв. 10, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3218. В. Великого 6, кв. 11, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3219. В. Великого 6, кв. 12, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3220. В. Великого 6, кв. 13, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3221. В. Великого 6, кв. 14, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3222. В. Великого 6, кв. 15, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3223. В. Великого 6, кв. 16, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3224. В. Великого 6, кв. 17, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3225. В. Великого 6, кв. 18, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3226. В. Великого 6, кв. 19, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3227. В. Великого 6, кв. 20, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3228. В. Великого 6, кв. 21, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3229. В. Великого 6, кв. 22, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3230. В. Великого 6, кв. 23, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3231. В. Великого 6, кв. 24, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3232. В. Великого 6, кв. 25, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3233. В. Великого 6, кв. 26, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3234. В. Великого 6, кв. 27, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3235. В. Великого 6, кв. 28, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3236. В. Великого 6, кв. 29, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3237. В. Великого 6, кв. 30, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3238. В. Великого 6, кв. 31, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3239. В. Великого 6, кв. 32, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3240. В. Великого 6, кв. 33, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3241. В. Великого 6, кв. 34, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./імп., ✗ 3242. В. Великого 6, кв. 35, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп., ✗ 3243. В. Великого 6, кв. 36, Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./імп.,

© HardDomains.SmartCity.te.ua 2019

Рисунок 4.17 – Відображення відомостей щодо складових елементів операцій порівняльного аналітичного опрацювання колекцій даних

На рисунку 4.18 подано представлені з використанням розробленого веб-інтерфейсу результати порівняльного аналітичного опрацювання колекцій даних з використанням розробленого в дисертації методу опрацювання подій в ресурсних мережах, поданого в параграфі 3.1. Змодельовано опрацювання даних щодо постачання холодної води для одного під'їзда девятиповерхового багатоквартирного будинку.

Тернопіль SmartCity

Дані

Статистика за групою операцій

для IoT-пристрою: 3207. В. Великого 6 вхід 1 півідд

Виберіть дані для перегляду

По днях: **Останні 24 години** Вчора, Сьогодні | Вибраний день: Тра 17 2019

По тижнях: **Минулий тиждень** | Перегляд поточного тижня

По місяцях: **Минулий місяць** | Перегляд поточного місяця | Виберіть місяць: Травень 2019

Довільно: Від: Тра 17 2019 | До: Тра 17 2019

В якості базового використовується: Витрати для Імпульсний вхід І1: Лічильник холодної води 100л./ліп.

Відбуватиметься віднімання показників наступних датчиків:

1. 3208. В. Великого 6, кв. 1 (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 2. 3209. В. Великого 6, кв. 2. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 3. 3210. В. Великого 6, кв. 3. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 4. 3211. В. Великого 6, кв. 4. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 5. 3212. В. Великого 6, кв. 5. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 6. 3213. В. Великого 6, кв. 6. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 7. 3214. В. Великого 6, кв. 7. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 8. 3215. В. Великого 6, кв. 8. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 9. 3216. В. Великого 6, кв. 9. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 10. 3217. В. Великого 6, кв. 10. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 11. 3218. В. Великого 6, кв. 11. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 12. 3219. В. Великого 6, кв. 12. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 13. 3220. В. Великого 6, кв. 13. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 14. 3221. В. Великого 6, кв. 14. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 15. 3222. В. Великого 6, кв. 15. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 16. 3223. В. Великого 6, кв. 16. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 17. 3224. В. Великого 6, кв. 17. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 18. 3225. В. Великого 6, кв. 18. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 19. 3226. В. Великого 6, кв. 19. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 20. 3227. В. Великого 6, кв. 20. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 21. 3228. В. Великого 6, кв. 21. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 22. 3229. В. Великого 6, кв. 22. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 23. 3230. В. Великого 6, кв. 23. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 24. 3230. В. Великого 6, кв. 24. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 25. 3230. В. Великого 6, кв. 25. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 26. 3230. В. Великого 6, кв. 26. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 27. 3230. В. Великого 6, кв. 27. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 28. 3230. В. Великого 6, кв. 28. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 29. 3230. В. Великого 6, кв. 29. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 30. 3230. В. Великого 6, кв. 30. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 31. 3230. В. Великого 6, кв. 31. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 32. 3230. В. Великого 6, кв. 32. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 33. 3230. В. Великого 6, кв. 33. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 34. 3230. В. Великого 6, кв. 34. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 10л./ліп.). 35. 3230. В. Великого 6, кв. 35. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.). 36. 3230. В. Великого 6, кв. 36. (Імпульсний вхід І1 : Лічильник холодної води 1л./ліп.).

Показано дані з 17-05-2019 00:00 по 17-05-2019 23:00

№ з.п.	Дата	Показник для Імпульсний вхід І1 (м³)	Витрати для Імпульсний вхід І1 (м³/годину)	Витрата для дочірніх датчиків(м³ /годину). Сума витрат (Різниця показників)	Виконано дії
24	17-05-2019 23:01	358212.5	0.9	1) 0.01; 2) 0; 3) 0.05; 4) 0; 5) 0; 6) 0.03; 7) 0.02; 8) 0; 9) 0; 10) 0.17; 11) 0; 12) 0.15; 13) 0; 14) 0.15; 16) 0; 17) 0; 18) 0; 19) 0; 20) 0.21; 0.22; 0.23; 0.24; 0.24; 25) 0; 26) 0; 27) 0; 28) 0; 29) 0; 30) 0.31; 0.14; 32) 0; 33) 0; 34) 0; 35) 0.09; 36) 0; Сума: 0.9 (0)	---
23	17-05-2019 22:01	358211.6	1.1	1) 0.01; 2) 0.02; 3) 0.2; 4) 0.01; 5) 0; 6) 0.01; 7) 0.23; 8) 0.01; 9) 0; 10) 0.01; 11) 0.01; 12) 0.01; 13) 0.01; 14) 0.01; 15) 0.01; 16) 0.01; 17) 0.02; 18) 0.08; 19) 0.01; 20) 0.03; 21) 0.22; 0.07; 23) 0.04; 24) 0; 25) 0.01; 26) 0.05; 27) 0; 28) 0; 29) 0.07; 30) 0.03; 31) 0.05; 32) 0.03; 33) 0; 34) 0.02; 35) 0.01; 36) 0.01; Сума: 1.09 (0,01)	Виявлено не передані дані. Поіформовано СМС відповідальну особу.
22	17-05-2019 21:01	358210.5	1.2	1) 0.02; 2) 0.03; 3) 0.12; 4) 0.17; 5) 0; 6) 0.04; 7) 0.01; 8) 0.01; 9) 0; 10) 0.01; 11) 0.01; 12) 0.02; 13) 0.01; 14) 0.03; 15) 0.01; 16) 0.01; 17) 0.04; 18) 0; 19) 0.01; 20) 0.01; 21) 0; 22) 0.01; 23) 0.01; 24) 0.01; 25) 0.14; 26) 0.01; 27) 0.3; 28) 0; 29) 0.01; 30) 0.01; 31) 0; 32) 0.01; 33) 0; 34) 0.02; 35) 0.06; 36) 0.05; Сума: 1.2 (0)	---
21	17-05-2019 20:01	358209.3	1.3	1) 0.03; 2) 0; 3) 0.18; 4) 0.11; 5) 0; 6) 0.02; 7) 0.07; 8) 0.01; 9) 0; 10) 0.01; 11) 0.01; 12) 0.01; 13) 0.01; 14) 0.01; 15) 0.01; 16) 0.01; 17) 0.03; 18) 0.02; 19) 0.01; 20) 0.01; 21) 0; 22) 0.07; 23) 0.01; 24) 0.04; 25) 0.15; 26) 0.03; 27) 0.01; 28) 0; 29) 0.12; 30) 0.03; 31) 0.02; 32) 0.12; 33) 0; 34) 0.03; 35) 0.04; 36) 0.07; Сума: 1.3 (0)	---
20	17-05-2019 19:01	358208	1	1) 0.02; 2) 0.01; 3) 0.01; 4) 0.01; 5) 0; 6) 0; 7) 0.01; 8) 0.01; 9) 0; 10) 0.01; 11) 0.01; 12) 0.01; 13) 0.22; 14) 0.01; 15) 0.01; 16) 0.01; 17) 0.17; 18) 0.01; 19) 0.01; 20) 0.03; 21) 0; 22) 0; 23) 0.01; 24) 0.03; 25) 0.17; 26) 0.01; 27) 0.01; 28) 0; 29) 0.01; 30) 0.01; 31) 0.13; 32) 0.01; 33) 0; 34) 0.02; 35) 0; 36) 0.02; Сума: 1.0 (0)	---
19	17-05-2019 18:01	358207	1.1	1) 0.01; 2) 0.01; 3) 0.02; 4) 0.18; 5) 0; 6) 0.01; 7) 0.07; 8) 0.04; 9) 0; 10) 0.07; 11) 0.05; 12) 0.03; 13) 0.04; 14) 0.05; 15) 0.01; 16) 0.01; 17) 0.01; 18) 0.01; 19) 0.01; 20) 0.01; 21) 0; 22) 0.01; 23) 0.01; 24) 0.01; 25) 0.15; 26) 0.01; 27) 0.01; 28) 0; 29) 0.01; 30) 0.01; 31) 0.01; 32) 0.06; 33) 0; 34) 0.01; 35) 0.09; 36) 0.07; Сума: 1.1 (0)	---
18	17-05-2019 17:01	358205.9	1.1	1) 0; 2) 0; 3) 0; 4) 0; 5) 0.15; 6) 0; 7) 0.05; 8) 0; 9) 0; 10) 0; 11) 0; 12) 0; 13) 0; 14) 0; 15) 0; 16) 0; 17) 0; 18) 0; 19) 0; 20) 0.21; 0.22; 0.23; 0.02; 24) 0; 25) 0; 26) 0.1; 27) 0; 28) 0; 29) 0.12; 30) 0.21; 31) 0; 32) 0.1; 33) 0; 34) 0; 35) 0.18; 36) 0.17; Сума: 1.1 (0)	---
17	17-05-2019 16:01	358204.8	1.1	1) 0; 2) 0; 3) 0; 4) 0; 5) 0.14; 6) 0; 7) 0; 8) 0; 9) 0; 10) 0; 11) 0; 12) 0.3; 13) 0; 14) 0.06; 15) 0; 16) 0; 17) 0; 18) 0.04; 19) 0; 20) 0; 21) 0; 22) 0; 23) 0.04; 24) 0; Сума: 1.1 (0)	---

Рисунок 4.18 – Відображення відомостей щодо порівняльного аналітичного опрацювання даних з використанням веб-інтерфейсу

Початкова сторінка мобільного інтерфейсу прототипу ПАК інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста» подана на рисунку 4.19.

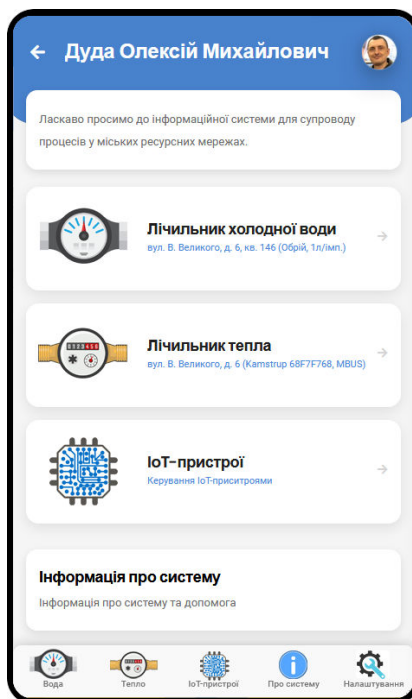


Рисунок 4.19 – Початкова сторінка мобільного інтерфейсу прототипу ПАК супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»

Відображення інформації щодо ІоТ-пристрою з використанням мобільного інтерфейсу подано на рисунку 4.20.



Рисунок 4.20 – Відображення інформації щодо ІоТ-пристрою з використанням мобільного інтерфейсу

На рисунку 4.21 подано інформацію щодо підключення лічильника холодної води 10л/імп. виготовленого ВАТ РМЗ «Обрій», в момент налаштування методу аналітичного опрацювання з використанням нейромережі. Нейромережу використано, як один із засобів «Керованого машинного навчання», вибраного для аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних» на основі поданого в параграфі 3.2 методу. Для нейромережі задано використання трьох шарів та кількість перцептронів у найбільшому шарі рівну трьом. Інтеграція засобів аналітичного опрацювання на основі нейромереж подана в публікаціях [21]–[23].

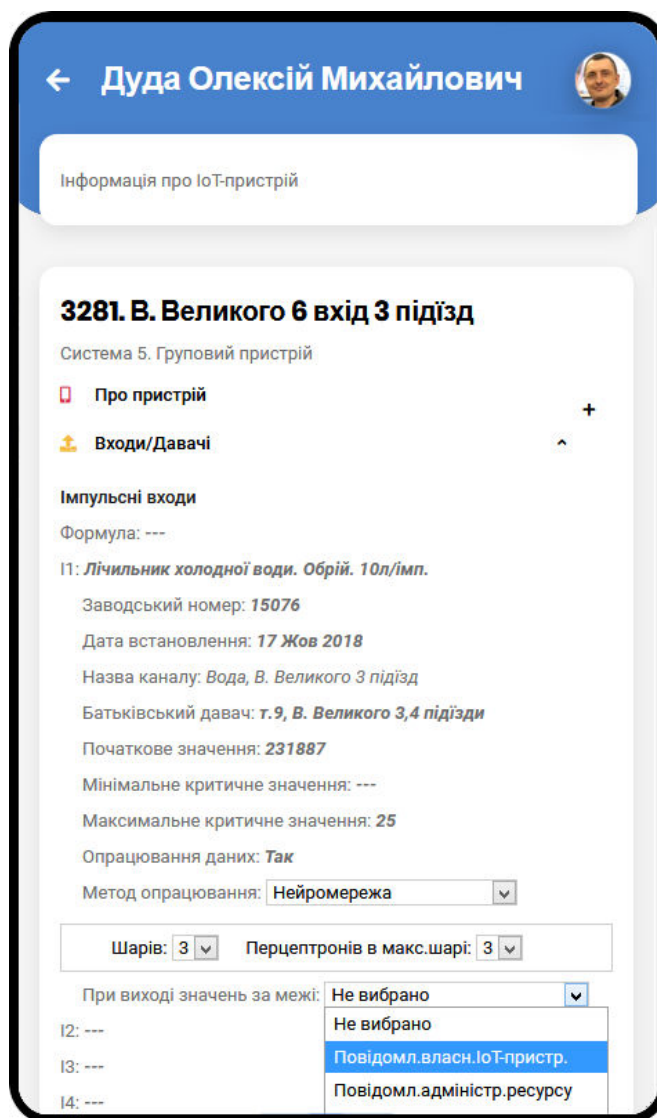
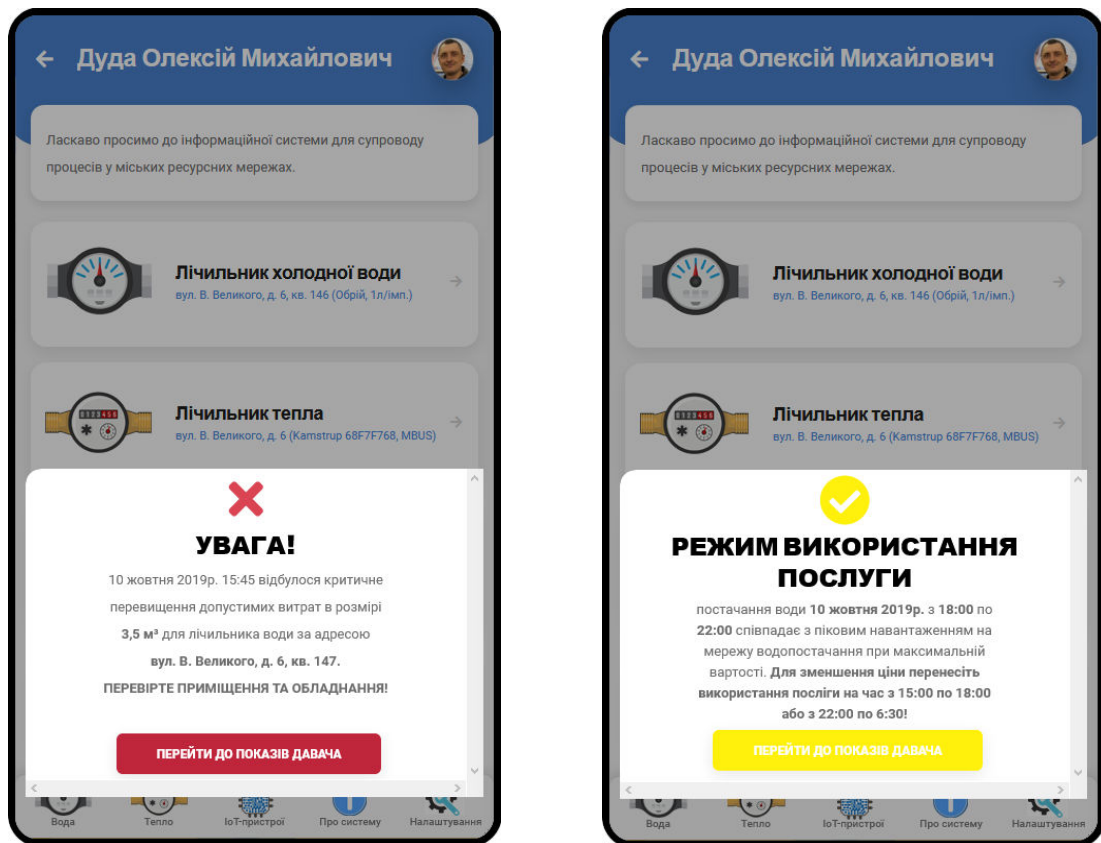


Рисунок 4.21 – Відображення інформації щодо підключеного лічильника з використанням мобільного інтерфейсу

З метою підвищення ступеня повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в міських ресурсних мережах, в прототипі ПАК передбачено функціональні можливості для надсилання інформаційних повідомлень. На рисунку 4.22 подано відображення отриманих з використанням мобільного інтерфейсу повідомлень щодо критичного перевищення витрат та рекомендації щодо використання ресурсів.



А) Щодо перевищення витрат

Б) Щодо режиму використання послуг

Рисунок 4.22 – Отримані повідомлення

Початкова сторінка веб-інтерфейсу прототипу ПАК інформаційної системи «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»» подана на рисунку 4.23. Головна сторінка даного прототипу поєднує сторінку запрошення для роботи з ПАК та ключові структурні елементи. Головне навігаційне меню містить посилання для відповідних компонент ПАК.



Рисунок 4.23 – Початкова сторінка веб-інтерфейсу прототипу ПАК інформаційної системи «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»»

На рисунку 4.24 подано сторінку відображення інформаційних сутностей та структури даних для зберігання інформації щодо онлайн-сервісу «Герої України. Тернопільська область». Зокрема подано перелік та структуру інформаційних сутностей: «Район (Region)», «Населений пункт (City)», «Людина (People)», «Стаття (Article)». Онлайн-сервіс інтегровано з веб-сайтом Державного архіву Тернопільської області.



Рисунок 4.24 – Структури даних для зберігання інформації щодо онлайн-сервісу «Герої України. Тернопільська область»

Початкова сторінка онлайн-сервісу подана на рисунку 4.25.

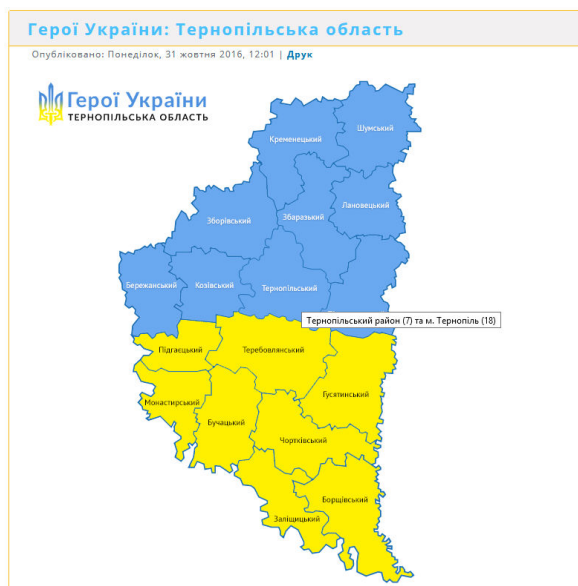


Рисунок 4.25 – Початкова сторінка онлайн-сервісу

4.7 Впровадження результатів дослідження

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. 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.

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 установи. Розроблено структури даних для зберігання інформації щодо онлайн-сервісу.

Окремі положення дослідження впроваджені та використовуються у роботі:

1. ТОВ Ремонтно-механічний завод «Обрій».
2. ТОВ «Укрзахідспецмонтаж».
3. Державного архіву Тернопільської області.

Результати дослідження впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

Висновки до розділу 4

1. На основі аналізу сформованого переліку функціональних вимог розроблені контекстні діаграми та діаграми прецедентів для інформаційних систем, в яких реалізовані базові процедури інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах.

2. На основі запропонованих в параграфі 2.4 прототипів СД та поданої в параграфі 3.1 моделі даних ресурсних мереж «розумного міста» розроблено прототипи БД для інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста», що дозволило провести практичне моделювання відповідних програмно-алгоритмічних комплексів.

3. На основі запропонованої тривірневої архітектури розроблено структурно-функціональні схеми прототипів програмно-алгоритмічних комплексів інформаційно-технологічного супроводу процесів, що протікають у ресурсних мережах «розумного міста» та інформаційній системі формування та опрацювання міського консолідованого інформаційного соціокомунікаційного ресурсу.

4. З використанням клієнт-серверної архітектури сформовано дві цілісні інформаційні системи супроводу процесів, які протікають у ресурсних та соціокомунікаційних мережах «розумного міста», реалізовані у вигляді окремих програмно-алгоритмічних комплексів. Що дозволило виконати практичну апробацію проведених досліджень. Подано опис інтерфейсів розроблених прототипів, використання яких дозволило підвищити ступінь повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах. Описано особливості їх впровадження на підприємствах та в міській муніципальній установі для підвищення ефективності перебігу процесів опрацювання інформаційних запитів мешканців та гостей 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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. Гашин, 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. Гладько, 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. Гладько, 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. Гладько, 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-Святиязь. 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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[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.

[48] R. Petrolo, V. Loscri, and N. Mitton, "Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms", *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 28(1), 00652931, 2017.

[49] J. Jin, J. Gubbi, S. Marusic, and M. Palaniswami, "An information framework for creating a smart city through internet of things", *IEEE Internet of Things journal*, 1(2), pp. 112 - 121, 2014.

[50] В. Ю. Луніна, Теоретичні підходи до визначення поняття місто та його типології стосовно України, *Прометей*, (1), 2013, с. 68 – 74.

[51] Державна служба статистики України, Чисельність наявного населення України на 1 січня 2016 року. [Електронний ресурс]. Доступно: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2016/zb_nas_15.pdf. [Дата звертання: Жов. 05, 2019].

[52] A. Zanella et al. "Internet of things for smart cities.", *IEEE Internet of Things journal* 1.1, pp. 22-32, 2014.

[53] L.-G. Cretu, "Smart cities design using event-driven paradigm and semantic web", *Informatica Economica* ,16.4, 2012, p. 57.

[54] K. Kourtit, and P. Nijkamp, "Smart cities in the innovation age", *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25.2, pp. 93-95, 2012.

[55] K. Kourtit, P. Nijkamp, and D. Arribas, "Smart cities in perspective—a comparative European study by means of self-organizing maps", *Innovation: The European journal of social science research*, 25.2, pp. 229-246, 2012.

[56] S. Zygiaris, "Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems", *Journal of the knowledge economy*, 4.2, pp. 217-231, 2013.

[57] N. Komninos, "Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence", *From Intelligent to Smart Cities*, Routledge, pp. 46-62, 2015.

[58] V. Albino, U. Berardi, and R. M. Dangelico, "Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives", *Journal of urban technology*, 22.1, pp. 3-21, 2015.

[59] R. Kitchin, "The real-time city? Big data and smart urbanism", *GeoJournal*, 79.1, pp. 1-14, 2014.

[60] G. P. Hancke, and G. P. Hancke Jr, "The role of advanced sensing in smart cities", *Sensors*, 13.1, pp. 393-425, 2013.

[61] H. Schaffers et al., "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation", *The future internet assembly*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

[62] D. Arribas-Bel, K. Kourtit, and P. Nijkamp, "Benchmarking of world cities through self-organizing maps", *Cities*, 31, pp. 248-257, 2013.

[63] R. Giffinger and P.-M. Nataša, "Smart cities: Ranking of European medium-sized cities", *Centre of Regional Science*, Vienna University of Technology, 2007.

[64] A. Vanolo, "Smartmentality: The smart city as disciplinary strategy", *Urban studies*, 51.5, pp. 883-898, 2014.

[65] G. C. Lazaroiu and M. Roscia. "Definition methodology for the smart cities model", *Energy*, 47.1, pp. 326-332, 2012.

[66] European Smart Cities [Online]. Available: <http://www.smart-cities.eu/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[67] D. Lu, et al., "The performance of the smart cities in China – A comparative study by means of self-organizing maps and social networks analysis", *Sustainability*, 7.6, pp. 7604-7621, 2015.

[68] V. Pasichnyk, et al. "Visualization of Expert Evaluations of the Smartness of Sociopolises with the Help of Radar Charts", *International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications*, Springer, Cham, 2019.

[69] Д. Р. Табачишин, та ін., "Експертне оцінювання "розумності міста" із застосуванням нечіткої логіки", *Штучний інтелект*, 2017.

[70] Катренко А.В. Системний аналіз: підручник – Львів: «Новий світ – 2000», 2011. – 396 с. ISBN 978-966-418-102-7.

[71] ДСТУ 2392-94 Інформація та документація. Базові поняття. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. Доступно: http://document.ua/informacija-ta-dokumentacija_-bazovi-ponjattja_-termini-ta-v-std487.html.

[72] Закон України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» [Електронний ресурс]. Доступно: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80/94-%D0%B2%D1%80>.

[73] United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA), "World Urbanization Prospects, The 2018 Revision, Highlights", 2018.

[74] D. Marchetti, R. Oliveira, and A. R. Figueira, "Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context", *Cities*, 92, pp. 197-207, 2019.

[75] E. Ismagilova, et al. "Smart cities: Advances in research – An information systems perspective", *International Journal of Information Management*, 47, pp. 88-100, 2019.

[76] S. P. Caird and S. H. Hallett, "Towards evaluation design for smart city development", *Journal of urban Design*, 24.2, pp. 188-209, 2019.

[77] J. Santos, et al., "City of things: Enabling resource provisioning in smart cities", *IEEE Communications Magazine*, 56.7, pp. 177-183, 2018.

[78] B. Esmailian, et al., "The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper", *Waste management*, 81, pp. 177-195, 2018.

[79] S. S. Reka and T. Dragicevic, "Future effectual role of energy delivery: A comprehensive review of Internet of Things and smart grid", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, pp. 90-108, 2018.

[80] J. P. Gouveia, J. Seixas, and G. Giannakidis, "Smart city energy planning: integrating data and tools", *Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web*, 2016.

[81] J. Webb, D. Hawkey, and M. Tingey, "Governing cities for sustainable energy: The UK case.", *Cities*, 54, pp. 28-35, 2016.

[82] T. Dickey, "Smart water solutions for smart cities", *Smart Cities*, Springer, Cham, pp. 197-207, 2018.

[83] H. March, et al., "Household smart water metering in Spain: Insights from the experience of remote meter reading in Alicante", *Sustainability*, 9.4, p. 582, 2017.

[84] A. Ianakiev, et al., "Innovative system for delivery of low temperature district heating", *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 12, pp. 19-28, 2017.

[85] C. Perera, et al., "Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things", *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 25.1, pp. 81-93, 2014.

[86] M. Conti, A. Passarella, and F. Pezzoni, "A model for the generation of social network graphs", *2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, IEEE, 2011.

[87] S. Wasserman and K. Faust, "Social network analysis: Methods and applications", *Cambridge university press*, Vol. 8, 1994.

[88] B. Furht, "Handbook of social network technologies and applications", *Springer Science & Business Media*, 2010.

- [89] M. Atzmueller, "Social behavior in mobile social networks: characterizing links, roles, and communities", *Mobile social networking*, Springer, New York, NY, pp. 65-78, 2014.
- [90] J. M. Hernández-Muñoz, et al., "Smart cities at the forefront of the future internet", *The future internet assembly*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [91] L. Sanchez, "SmartSantander: experimenting the future internet in the city of the future", *PIMRC2010*, Istanbul, 2010.
- [92] M. R. F. B. Junior, et al., "Business Models Applicable to IoT." *Handbook of Research on Business Models in Modern Competitive Scenarios*, IGI Global, 2019. pp. 21-42.
- [93] S. Efremov, N. Pilipenko, and L. Voskov, "An integrated approach to common problems in the Internet of Things", *Procedia Engineering*, 100, pp. 1215-1223, 2015.
- [94] S. S. Basu, S. Tripathy, and A. R. Chowdhury, "Design challenges and security issues in the Internet of Things", *2015 IEEE Region 10 Symposium*, IEEE, 2015.
- [95] J. Gubbi, et al., "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", *Future generation computer systems*, 29.7, 2013, pp. 1645-1660.
- [96] P. Vijai and P. Bagavathi Sivakumar, "Design of IoT systems and analytics in the context of smart city initiatives in India", *Procedia Computer Science*, 92, pp. 583-588, 2016.
- [97] R. Lea and M. Blackstock, "Smart cities: An iot-centric approach", *Proceedings of the 2014 international workshop on web intelligence and smart sensing*, 2014.
- [98] M. Chen, et al., "A Computing and Content Delivery Network in the Smart City: Scenario, Framework, and Analysis", *IEEE Network*, 33.2, pp. 89-95, 2019.
- [99] N. Ramzan and E. Izquierdo, "Scalable and adaptable media coding techniques for future internet", *The Future Internet Assembly*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [100] R. N. Murty, et al., "Citysense: An urban-scale wireless sensor network and testbed", *2008 IEEE conference on technologies for homeland security*, IEEE, 2008.

- [101] A. Gaur, et al., "Smart city architecture and its applications based on IoT.", *ANT/SEIT*, 2015.
- [102] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey", *Computer networks*, 54.15, 2010, pp. 2787-2805.
- [103] H. Patel, "A General Survey on Internet of Things based Smart Cities", *Journal of Advances in Shell Programming*, 6.2, pp. 1-7, 2019.
- [104] E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", *Computer Communications*, 54, pp. 1-31, 2014.
- [105] K. Habak, et al., "Elastic mobile device clouds: Leveraging mobile devices to provide cloud computing services at the edge", *Fog for 5G and IoT*, 2017, p. 159.
- [106] M. Chiang, et al., "Clarifying fog computing and networking: 10 questions and answers", *IEEE Communications Magazine*, 55.4, pp. 18-20, 2017.
- [107] P.-J. Shih, "From the Cloud to the Edge: The Technical Characteristics and Application Scenarios of Fog Computing", *International Journal of Automation and Smart Technology*, 8.2, pp. 61-64, 2018.
- [108] M. Tortonesi, et al., "Taming the IoT data deluge: An innovative information-centric service model for fog computing applications", *Future Generation Computer Systems*, 93, pp. 888-902, 2019.
- [109] M. Goul, V. Mishra, and D. Dnyanmothe, "Organizational Data and Analytics Contracting in Smart City Fog Computing Platforms", *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 2018.
- [110] Y.-C. Hsieh, et al., "Managed edge computing on Internet-of-Things devices for smart city applications", *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, IEEE, 2018.
- [111] A. Hosseinian-Far, M. Ramachandran, and C. L. Slack, "Emerging trends in cloud computing, big data, fog computing, IoT and smart living", *Technology for Smart Futures*, Springer, Cham, 2018, pp. 29-40.
- [112] L. Yin, J. Luo, and H. Luo, "Tasks scheduling and resource allocation in fog computing based on containers for smart manufacturing", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14.10, pp. 4712-4721, 2018.

[113] U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2011, The NIST definition of cloud computing, [Online]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>.

[Accessed on: Oct 10, 2019].

[114] Gartner, IT Glossary: Cloud Computing, [Online]. Available: <http://www.gartner.com/it-glossary/cloud-computing>. Accessed on: Oct 10, 2019.

[115] Cloud Computing for Smart Grids and Smart Cities. [Online]. Available: http://www.zeitgeistlab.ca/doc/cloud_computing_for_smart_grids_and_smart_cities.html. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[116] W. Voorsluys, J. Broberg, and R. Buyya, "Cloud computing: Principles and paradigms", *Ch. Introduction to Cloud Computing*, 2011, pp. 1-44.

[117] A. Enayet, et al., "A mobility-aware optimal resource allocation architecture for big data task execution on mobile cloud in smart cities", *IEEE Communications Magazine*, 56.2, pp. 110-117, 2018.

[118] B. Booth, "The Cloud: A Critical Smart City Asset", *Smart Cities*. Springer, Cham, 2018, pp. 97-105.

[119] J. Yang, B. Jiang, and H. Song, "A distributed image-retrieval method in multi-camera system of smart city based on cloud computing", *Future Generation Computer Systems*, 81, pp. 244-251, 2018.

[120] P. Tsarchopoulos, N. Komninos, and C. Kakderi, "Accelerating the uptake of smart city applications through cloud computing", *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 11.1, pp. 129-138, 2017.

[121] CLOUDFOREUROPE [Online]. Available: <http://www.cloudforeurope.eu>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[122] OpenContrail. An open-source network virtualization platform for the cloud [Online]. Available: <http://www.opencontrail.org/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[123] OPTIMIS Project Overview [Online]. Available: <http://www.optimis-project.eu/project>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[124] PRISMACLOUD (PRIVacy & Security MAIntaining Services in the CLOUD) [Online]. Available: <https://prismacloud.eu/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[125] RESERVOIR – A European Cloud Computing Project [Online]. Available: <https://ercim-news.ercim.eu/en83/special/reservoir-a-european-cloud-computing-project>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[126] VISION Cloud [Online]. Available: http://cordis.europa.eu/project/rcn/95928_en.html. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[127] European Cloud Strategy 2012 [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/european-cloud-computing-strategy>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[128] G. Suciu, et al., "Cloud computing and internet of things for smart city deployments", *Challenges of the Knowledge Society*, 2013.

[129] I. A. T. Hashem, et al., "The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues", *Information systems*, 47, pp. 98-115, 2015.

[130] J. Manyika, et al., "Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity", 2011.

[131] R. Barkham, S. Bokhari, and A. Saiz, "Urban big data: city management and real estate markets", *GovLab Digest: New York, NY, USA*, 2018.

[132] R. Burns, C. M. Dalton, and J. E. Thatcher, *Critical data, critical technology in theory and practice*, 2018, pp. 126-128.

[133] S. M. Wu, et al., "Smart cities in Taiwan: A perspective on big data applications", *Sustainability*, 10.1, pp. 106, 2018.

[134] E. Al Nuaimi, et al., "Applications of big data to smart cities", *Journal of Internet Services and Applications*, 6.1, p. 25, 2015.

[135] P. P. Maglio, and C.-H. Lim, "Innovation and big data in smart service systems", *Journal of Innovation Management*, 4.1, pp. 11-21, 2016.

[136] L. White, K. Burger, and M. Yearworth, "Smart cities: big data and behavioral operational research", *Behavioral Operational Research*, Palgrave Macmillan, London, 2016, pp. 303-318.

- [137] S. Chauhan, N. Agarwal, and A. K. Kar, "Addressing big data challenges in smart cities: a systematic literature review", *info*, 2016.
- [138] C. Voigt, and J. M. Bright, *The lightweight smart city and biases in repurposed big data*, 2016.
- [139] I. A. T. Hashem, et al., "The role of big data in smart city", *International Journal of Information Management*, 36.5, pp. 748-758, 2016.
- [140] D. Kennedy, et al., "Smart Cities and Big Data", *Deloitte & Touche*, 2015.
- [141] J. Frith, "Big data, technical communication, and the smart city", *Journal of Business and Technical Communication*, 31.2, pp. 168-187, 2017.
- [142] J. Edelenbos, et al., "Governing the complexity of smart data cities: Setting a research agenda", *Smart Technologies for Smart Governments*, Springer, Cham, 2018, pp. 35-54.
- [143] Z. Lv, et al., "Government affairs service platform for smart city", *Future Generation Computer Systems*, 81, pp. 443-451, 2018.
- [144] S. Mittal, and M. Sethi, "Smart and livable cities: opportunities to enhance quality of life and realize multiple co-benefits", *Mainstreaming Climate Co-Benefits in Indian Cities*, Springer, Singapore, 2018, pp. 245-263.
- [145] J. Koh, et al., "Data hub architecture for smart cities", *Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, 2017.
- [146] Y. Wu, et al., "Smart city with Chinese characteristics against the background of big data: Idea, action and risk", *Journal of Cleaner Production*, 173, pp. 60-66, 2018.
- [147] C. S. Monteiro, et al., "An urban building database (UBD) supporting a smart city information system", *Energy and Buildings*, 158, pp. 244-260, 2018.
- [148] A. Rajasekar, J. Samyuktha, and S. Meharaj, "Applicability of Big Data Techniques to Smart Home", *International Journal of Engineering Science*, 16385, 2018.
- [149] A. Tahat, et al., "A smart city environmental monitoring network and analysis relying on big data techniques", *Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management*, 2018.

- [150] K. W. Chau, et al., eds. *Proceedings of the 21st International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. Springer, 2017.
- [151] A. Paul, "IoT and Big Data towards a Smart City", *World Scientific News*, 41, p. 54, 2016.
- [152] M. M. Rathore, et al., "Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics", *Computer Networks*, 101, pp. 63-80, 2016.
- [153] N. Dey, et al., eds. *Internet of things and big data analytics toward next-generation intelligence*. Berlin, Springer, 2018.
- [154] C. Romero, J. Barriga, and J. Molano, "Big data meaning in the architecture of IoT for smart cities", *International Conference on Data Mining and Big Data*, Springer, Cham, 2016.
- [155] Y. Sun, et al., "Internet of things and big data analytics for smart and connected communities", *IEEE access*, 4, pp. 766-773, 2016.
- [156] E. Ahmed, et al., "The role of big data analytics in Internet of Things", *Computer Networks*, 129, pp. 459-471, 2017.
- [157] Y. Simmhan, et al. "Towards a data - driven IoT software architecture for smart city utilities", *Software: Practice and Experience*, 48.7, pp. 1390-1416, 2018.
- [158] J. A. C. Soto, et al., "Towards a Federation of Smart City Services", *International Conference on Recent Advances in Computer Systems*, Atlantis Press, 2015.
- [159] E. Psomakelis, et al., "Big IoT and social networking data for smart cities: Algorithmic improvements on Big Data Analysis in the context of RADICAL city applications", *arXiv preprint arXiv:1607.00509*, 2016.
- [160] B. Cheng, et al., "Industrial cyberphysical systems: Realizing cloud-based big data infrastructures", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 12.1, pp. 25-35, 2018.
- [161] Z. Khan, et al., "Towards cloud based big data analytics for smart future cities", *Journal of Cloud Computing*, 4.1, pp. 1-11, 2015.
- [162] X. Liu, A. Heller, and P. S. Nielsen, "CITIESData: Towards Cloud Based Big Data Management for Smart Cities", *3rd General Consortium Meeting of Smart Cities project, CITIES*, 2016.

[163] S. Sanila, D. Venkata Subramanian, and S. Sathyalakshmi, "Real-Time Mining Techniques: A Big Data Perspective for a Smart Future", *Indian Journal of Science and Technology*, 10.42, pp. 1-7, 2018.

[164] H. Habibzadeh, et al., "Soft sensing in smart cities: Handling 3Vs using recommender systems, machine intelligence, and data analytics", *IEEE Communications Magazine*, 56.2, pp. 78-86, 2018.

[165] A. Jindal, N. Kumar, and M. Singh, "A unified framework for big data acquisition, storage, and analytics for demand response management in smart cities", *Future Generation Computer Systems*, 2018.

[166] H. Elhoseny, et al., "A framework for big data analysis in smart cities", *International conference on advanced machine learning technologies and applications*, Springer, Cham, 2018.

[167] G. Kousiouris, et al., "An integrated information lifecycle management framework for exploiting social network data to identify dynamic large crowd concentration events in smart cities applications", *Future Generation Computer Systems*, 78, pp. 516-530, 2018.

[168] N. Kannan, et al., "Predictive big data analytic on demonetization data using support vector machine", *Cluster Computing*, 22.6, pp. 14709-14720, 2019.

[169] R. Pérez-Chacón, et al., "Big data analytics for discovering electricity consumption patterns in smart cities", *Energies*, 11.3, p. 683, 2018.

[170] M. Moy de Vitry, et al., "Smart urban water systems: what could possibly go wrong?", *Environmental Research Letters*, 14.8, 2019.

[171] K. Kourtit, and P. Nijkamp, "Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities – An experiment on stockholm", *Land use policy*, 71, 2018, pp. 24-35.

[172] R. Matheus, M. Janssen, and D. Maheshwari, "Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities", *Government Information Quarterly*, 2018, p. 101284.

[173] Open Data DK [Online]. Available: <https://portal.opendata.dk/organization/about/city-of-aarhus>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[174] Dublin City Council [Online]. Available: <http://www.dublincity.ie/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[175] Gardens by the Bay – Supertrees [Online]. Available: <http://grant-associates.uk.com/projects/super-trees/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[176] Chicago Data Portal - City of Chicago [Online]. Available: <https://data.cityofchicago.org/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[177] DataSF – San Francisco Open Data [Online]. Available: <https://datasf.org/opendata/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[178] J. P. Park, et al., "Mobile cloud and grid web service in a smart city", *Proceedings of The Fifth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization*, 2014.

[179] The Globus toolkit, [Online]. Available: <http://www.globus.org/toolkit/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[180] I. Foster, "Globus toolkit version 4: Software for service-oriented systems", *Journal of computer science and technology*, 21.4, 2006, p. 513.

[181] iCity – The №1 technology city [Online]. Available: <https://www.i-city.my/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[182] SmartSantander [Online]. Available: <http://www.smartsantander.eu/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[183] D. Puiu, et al., "Citypulse: Large scale data analytics framework for smart cities", *IEEE Access*, 4, pp. 1086-1108, 2016.

[184] OpenIoT – Open Source cloud solution for the Internet of Things [Online]. Available: <http://www.openiot.eu/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[185] Spitfire [Online]. Available: <https://www.spitfire.co.uk/>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[186] R. Giaffreda, "iCore: A cognitive management framework for the Internet of Things", *The Future Internet Assembly*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[187] R. Stühmer, et al., "Play: Semantics-based event marketplace", *Working Conference on Virtual Enterprises*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[188] OutSmart Power Systems [Online]. Available: <https://www.iotone.com/supplier/outsmart-power-systems/v879>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[189] STAR CITY: Semantic Traffic Analytics and Reasoning for CITY – IBM[Online]. Available: https://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=5101. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[190] F. Lécué, et al., "Smart traffic analytics in the semantic web with STAR-CITY: Scenarios, system and lessons learned in Dublin City", *Journal of web semantics*, 27, pp. 26-33, 2014.

[191] W. Ejaz, and A. Anpalagan, "Internet of things for smart cities: overview and key challenges", *Internet of Things for Smart Cities*, Springer, Cham, 2019, pp. 1-15.

[192] P. G. V. Naranjo, et al., "FOCAN: A Fog-supported smart city network architecture for management of applications in the Internet of Everything environments", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 132, pp. 274-283, 2019.

[193] C. Kakderi, et al., "Smart Cities on the Cloud", *Mediterranean Cities and Island Communities*, Springer, Cham, 2019, pp. 57-80.

[194] M. H. Amini, H. Arasteh, and P. Siano, "Sustainable smart cities through the lens of complex interdependent infrastructures: panorama and state-of-the-art", *Sustainable interdependent networks II*, Springer, Cham, 2019, pp. 45-68.

[195] A. Abdelaziz, et al., "A machine learning model for predicting of chronic kidney disease based internet of things and cloud computing in smart cities", *Security in Smart Cities: Models, Applications, and Challenges*, Springer, Cham, 2019, pp. 93-114.

[196] S. Paiva, ed. *Mobile Solutions and Their Usefulness in Everyday Life*. Springer, 2018.

[197] A. Koutras, I. A. Nikas, and A. Panagopoulos, "Towards Developing Smart Cities: Evidence from GIS Analysis on Tourists' Behavior Using Social Network Data in the City of Athens", *Smart Tourism as a Driver for Culture and Sustainability*, Springer, Cham, 2019, pp. 407-418.

[198] E. O'Dwyer, et al., "Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions", *Applied energy*, 237, pp. 581-597, 2019.

- [199] Y. Qu, et al., "Privacy preservation in smart cities", *Smart Cities Cybersecurity and Privacy*, Elsevier, 2019, pp. 75-88.
- [200] A. Sinaeepourfard, et al., "F2c2C-DM: a fog-to-cloudlet-to-cloud data management architecture in smart city." *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, IEEE, 2019.
- [201] В. В. Пасічник, та Н. Б. Шаховська, *Сховища даних: Навч. посібник*. Львів, Магнолія-2006, 2007.
- [202] В. В. Пасічник, В. В. Литвин, та Ю. В. Нікольський, *Аналіз даних та знань : навч. посібник*. Львів, Магнолія-2006, 2015.
- [203] M. Scriney, and M. Roantree, Efficient cube construction for smart city data. 2016.
- [204] Е. М. Хрусталёв, *Агрегация данных в OLAP-кубах*. Алекс Консалтинг & Софт, 2006.
- [205] М. С. Заботнев, "Методы поиска и агрегации информации в разреженных гиперкубах данных", *Информационные технологии*. №1, с. 57-62, 2006.
- [206] T. Ariyachandra, and H. J. Watson, "Which data warehouse architecture is most successful?", *Business intelligence journal*. 11.1, p. 4, 2006.
- [207] R. Kimball, and M. Ross, *The data warehouse toolkit: The definitive guide to dimensional modeling*. John Wiley & Sons, 2013.
- [208] C. Ghezzi, "Designing data marts for data warehouses." *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 10.4, pp. 452-483, 2001.
- [209] C. Delobel, and R. G. Casey, "Decomposition of a data base and the theory of Boolean switching functions", *IBM Journal of Research and Development*. 17.5, pp. 374-386, 1973.
- [210] C. Delobel, "Contributions théoriques à la conception et l'évaluation d'un système d'informations appliqué à la gestion", Diss., 1973.
- [211] J. Rissanen, and C. Delobel, *Decomposition of Files: A Basis for Data Storage and Retrieval*, IBM Thomas J. Watson Research Division, 1973.

[212] E. F. Codd, *Relational completeness of data base sublanguages*. IBM Corporation, 1972.

[213] A. Bouchet, "Etude combinatoire des ordonnés finis", Diss. 1971.

[214] А. А. Стогний, и В. В. Пасичник, *Реляционные модели баз данных*. УССР, Киев, ИКАНІ, 1983.

[215] Е. А. Сторожок, и В. Н. Тарасов, "Алгоритм нормализации схемы реляционной Базы данных", *Альманах современной науки и образования*, 3, с. 87-92, 2011.

[216] Закон України про житлово-комунальні послуги [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19>.

[217] Закон про захист економічної конкуренції [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.amc.gov.ua/amku/control/main/uk/publish/article/100571>.

[218] О. А. Петухова, С. А. Горносталь, та Ю. В. Уваров, *Спеціальне водопостачання: підручник (навчальне видання виправлене та доповнене)*. Харків, НУЦЗУ, 2015.

[219] Н. М. Притула, "Математичне моделювання та чисельний аналіз режимів роботи газотранспортної системи", Автореферат дисертації, Львів, 2009.

[220] М. П. Розводюк, Є. Я. Блінкін, та В. С. Ткач, *Електротехніка. Частина I. Дослідження електричних кіл. Навчальний посібник*. Вінниця, ВНТУ, 2006.

[221] K. R. Malik, et al., "A methodology for real-time data sustainability in smart city: Towards inferencing and analytics for big-data", *Sustainable Cities and Society*, 39, pp. 548-556, 2018.

[222] B. N. Silva, et al., "Urban planning and smart city decision management empowered by real-time data processing using big data analytics", *Sensors*, 18.9, p. 2994, 2018.

[223] Т. Саати, *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, Радио и связь, с. 278, 1993.

[224] О. А. Павлов, Г. А. Иванова, В. І. Кут, та О. С. Штанькевич, "Математичні моделі оптимізації для пошуку ваг об'єктів у методах підтримки

прийняття рішень", *Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2008: Материалы VIII Международной конференции (14-17 мая 2008г., г.Киев)*, Київ, Просвіта, с. 361-366, 2008.

[225] О. А. Павлов, Г. А. Іванова, В. І. Кут, та О. С. Штанькевич, "Математичні моделі оптимізації для пошуку ваг об'єктів у методах підтримки прийняття рішень", *Матеріали XI Всеукраїнської (VI Міжнародної) студентської наукової конференції з прикладної математики та інформатики СНКПМІ-2008 (9-10 квітня 2008р., м. Львів)*, Львів, 2008.

[226] B. N. Mohapatra, and P. P. Panda, *Machine learning applications to smart city*, 2019.

[227] F. Al-Turjman, *Smart Cities Performability, Cognition, & Security*. Springer International Publishing, 2019.

[228] A. R. Honarvar, and A. Sami, "Towards sustainable smart city by particulate matter prediction using urban big data, excluding expensive air pollution infrastructures", *Big data research*, 17, pp. 56-65, 2019.

[229] K. Soomro, et al., "Smart city big data analytics: An advanced review", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 9.5, 2019.

[230] M. Bouloukakis, et al., "Virtual Reality for Smart City Visualization and Monitoring", *Mediterranean Cities and Island Communities*, Springer, Cham, 2019, pp. 1-18.

[231] A. M. S. Osman, "A novel big data analytics framework for smart cities", *Future Generation Computer Systems*, 91, pp. 620-633, 2019.

[232] Підсумкові документи Всесвітнього саміту з питань інформаційного суспільства [Електронний ресурс]. Доступно: <http://old.apitu.org.ua/wsiss>.

[233] IBM – Hadoop – Big data analytics [Online]. Available: <https://www.ibm.com/analytics/hadoop/big-data-analytics>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[234] Hewlett Packard Enterprise DATA ANALYTICS SOLUTIONS [Online]. Available: https://www.hpe.com/emea_europe/en/solutions/data-analytics.html. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[235] Microsoft Big Data – Microsoft Download Center [Online]. Available: http://download.microsoft.com/download/f/a/1/fa126d6d-841b-4565-bb26-d2add4a28f24/microsoft_big_data_solution_brief.pdf. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[236] Big Data Products – Big Data Analytics|Oracle [Online]. Available: <https://www.oracle.com/big-data/products.html>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[237] BigQuery Data Analytics [Online]. Available: https://cloud.google.com/bigquery/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=emea-ua-all-uk-dr-bkws-all-all-trial-e-gcp-1007176&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_170512078231-ADGP_Hybrid+%7C+AW+SEM+%7C+BKWS+~+EXA_1:1-UA_UK_Data_BigQuery_google+bigquery-KWID_43700016968405192-kwd-63326440124-userloc_21292&utm_term=KW_google%20bigquery-ST_google+bigquery&ds_rl=1242853&ds_rl=1245734&ds_rl=1245734&gclid=CjwKCAjwxaXtBRBbEiwAPqPxcKmO7XQQ9LmkLU8qCZYUjzeHxQpy2mtC671tQDTYLccfgs6sMDpo-RoCwsEQAvD_BwE. [Accessed on: Oct 10, 2019].

[238] Big Data and Analytics – Cisco [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/big-data/index.html>. [Accessed on: Oct 10, 2019].

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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.

(Індексується 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. (Індексується 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. (Індексується 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).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

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", *Матерали 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. Гладько, 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-Свята. 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).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

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.

Інформаційно-технологічна матриця «розумного міста»

Етап роботи з даними	ІТ	Використовувані ІТ-засоби
1	2	3
D_{DS}	IT_{IoT}	Засоби захисту даних інтегровані в IoT-пристроях та сенсорах
D_{DS}	IT_{MT}	Засоби захисту даних інтегровані в мобільних сенсорах
D_{DS}	IT_{MT}	Засоби захисту даних інтегровані в смартфонах
D_{DS}	IT_{GIS}	BlockChain
D_{DS}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DR}	IT_{IoT}	Давачі та засоби реєстрації даних інтегровані на базі IoT-пристроїв та сенсорів
D_{DR}	IT_{MT}	Давачі та засоби реєстрації даних інтегровані на базі мобільних сенсорів
D_{DR}	IT_{MT}	Давачі та засоби реєстрації даних інтегровані в смартфонах
D_{DR}	IT_{GRID}	Давачі та засоби реєстрації даних інтегровані на базі GRID-мереж
D_{DR}	IT_{GIS}	Географічна прив'язка засобів реєстрації даних
D_{DR}	IT_{CCDP}	BlockChain
D_{DR}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DL}	IT_{IoT}	Інтегровані в IoT-пристрої засоби відбору та первинної фільтрації даних
D_{DL}	IT_{MT}	Інтегровані в мобільні сенсори засоби відбору та первинної фільтрації даних
D_{DL}	IT_{MT}	Інтегровані в смартфони засоби відбору та первинної фільтрації даних
D_{DL}	IT_{GRID}	Засоби відбору та первинної фільтрації даних інтегровані на базі GRID-мереж
D_{DL}	IT_{GIS}	Географічна прив'язка засобів реєстрації даних
D_{DL}	IT_{CCDP}	BlockChain
D_{DL}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DT}	IT_{IoT}	Комунікаційні засоби та протоколи обміну даними для IoT-пристроїв
D_{DT}	IT_{IoT}	Туманні засоби обміну даними

1	2	3
D_{DT}	IT_{MT}	Мобільні мережі
D_{DT}	IT_{MT}	Туманні засоби обміну даними
D_{DT}	IT_{GRID}	Ресурсні GRID-мережі
D_{DT}	IT_{GRID}	Туманні засоби обміну даними
D_{DT}	IT_{FC}	Туманні засоби обміну даними
D_{DT}	IT_{GIS}	Географічна прив'язка засобів передачі даних
D_{DT}	IT_{CCDP}	BlockChain
D_{DT}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DC}	IT_{IoT}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{IoT}	Daas (англ. Data as a Service)
D_{DC}	IT_{IoT}	Сховище як послуга (тут і нижче по тексту, англ. Software as a Service, SaaS)
D_{DC}	IT_{MT}	SaaS
D_{DC}	IT_{MT}	Daas
D_{DC}	IT_{MT}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{GRID}	SaaS
D_{DC}	IT_{GRID}	Daas
D_{DC}	IT_{GRID}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{FC}	SaaS
D_{DC}	IT_{FC}	Daas
D_{DC}	IT_{FC}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{CC}	SaaS
D_{DC}	IT_{CC}	Daas
D_{DC}	IT_{CC}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{CC}	БД
D_{DC}	IT_{CC}	СД
D_{DC}	IT_{CC}	Простори даних
D_{DC}	IT_{IM}	БД
D_{DC}	IT_{IM}	СД
D_{DC}	IT_{IM}	Простори даних

1	2	3
D_{DC}	IT_{IM}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{IDP}	БД
D_{DC}	IT_{IDP}	СД
D_{DC}	IT_{IDP}	Простори даних
D_{DC}	IT_{IDP}	Сховище «Великих даних»
D_{DC}	IT_{CCDP}	BlockChain
D_{DC}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DP}	IT_{IoT}	Засоби туманного попереднього опрацювання даних інтегровані на базі IoT-пристроїв
D_{DP}	IT_{MT}	Мобільні обчислення
D_{DP}	IT_{MT}	Засоби туманного попереднього опрацювання даних інтегровані на базі мобільних технологій
D_{DP}	IT_{GRID}	GRID-обчислення
D_{DP}	IT_{GRID}	Засоби туманного попереднього опрацювання даних інтегровані на базі GRID-мереж
D_{DP}	IT_{FC}	Туманне попереднє опрацювання даних
D_{DP}	IT_{IM}	Аналітичне опрацювання «Великих даних»
D_{DP}	IT_{IDP}	OLAP
D_{DP}	IT_{IDP}	Видобування даних та знань
D_{DP}	IT_{IDP}	СППР
D_{DP}	IT_{IDP}	Онтології
D_{DP}	IT_{IDP}	Аналітичне опрацювання «Великих даних»
D_{DP}	IT_{GIS}	Географічна кореляція даних
D_{DP}	IT_{CCDP}	BlockChain
D_{DP}	IT_{CCDP}	IPFS
D_{DV}	IT_{MT}	Мобільні застосунки для представлення даних
D_{DV}	IT_{GIS}	Географічно-контекстні засоби представлення даних
D_{DV}	IT_{CCDP}	IPFS

Компоненти гіперкубів даних

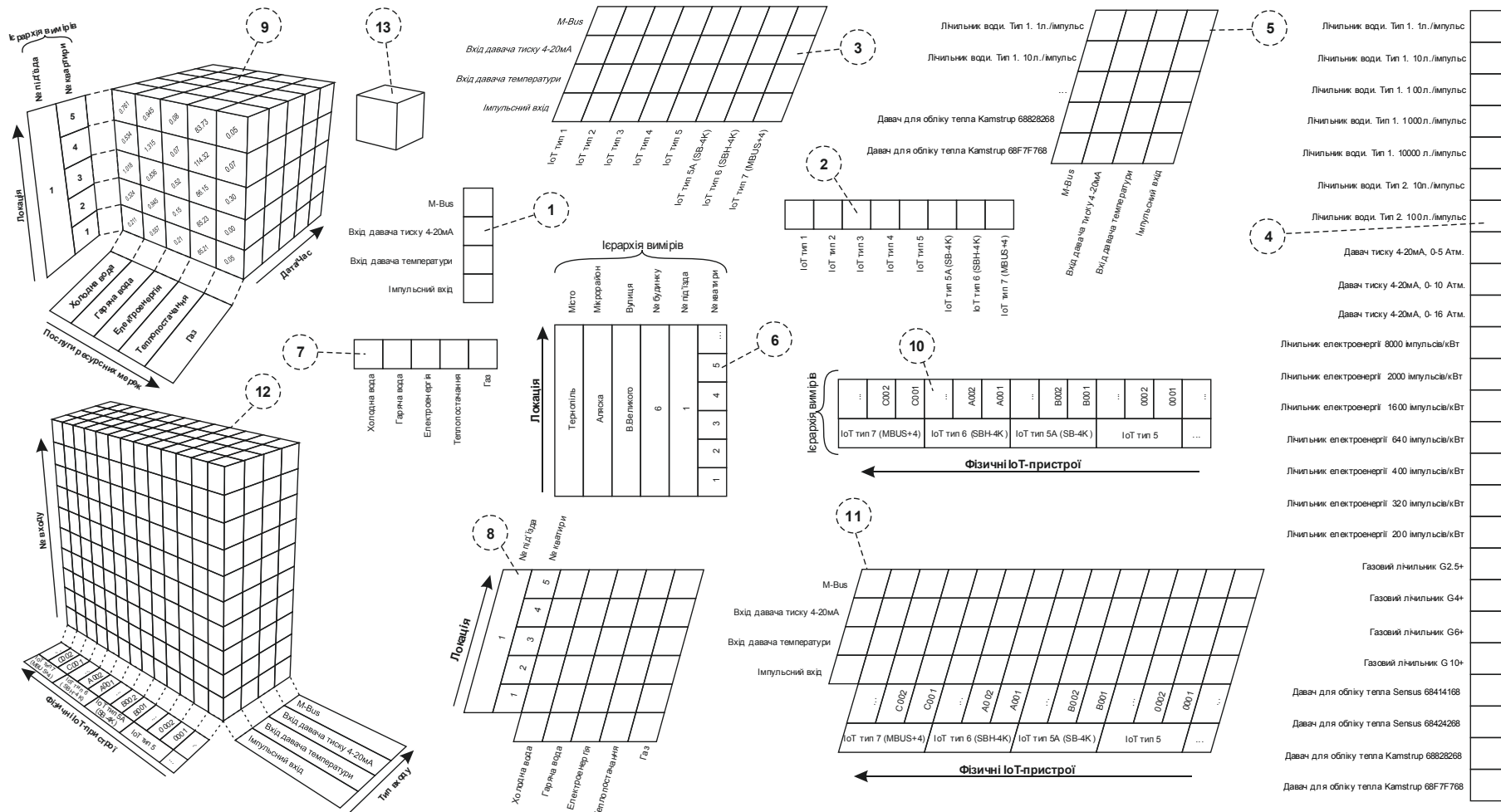


Рисунок В.1 – Компоненти гіперкуба даних щодо послуг, які подаються у міських ресурсних мережах

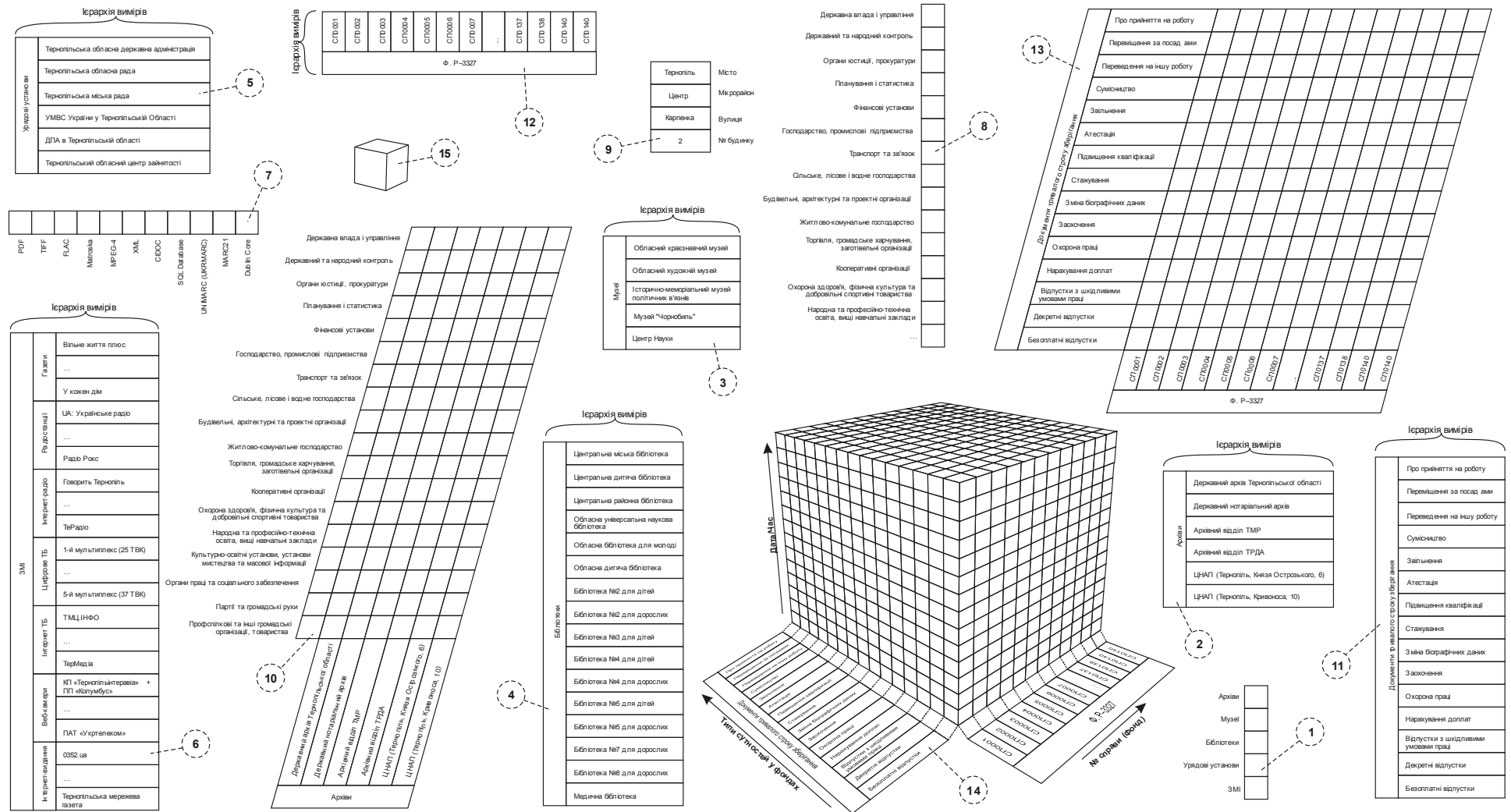


Рисунок В.2 – Компоненти гіперкуба даних щодо послуг, які надаються на основі міських соціокомунікаційних ресурсів

Додаток Д

Матриці попарних порівнянь та ваг альтернатив для задачі вибору категорії аналітичного опрацювання міських колекцій «Великих даних»

Таблиця Д.1 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм обсяг (volume)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	2	3	2	3
Некероване машинне навчання	0,5	1	4	3	4
Видобування даних	0,33	0,25	1	2	1
Статистичний аналіз	0,5	0,33	0,50	1	2
Візуалізація даних	0,33	0,25	1	0,5	1
Сума	2,67	3,83	9,50	8,5	11

Таблиця Д.2 – Ваги альтернатив за критерієм обсяг (volume)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,3750	0,5217	0,3158	0,2353	0,2727	1,7205	0,3441
Некероване машинне навчання	0,1875	0,2609	0,4211	0,3529	0,3636	1,586	0,3172
Видобування даних	0,1250	0,0652	0,1053	0,2353	0,0909	0,6217	0,1243
Статистичний аналіз	0,1875	0,087	0,0526	0,1176	0,1818	0,6266	0,1253
Візуалізація даних	0,1250	0,0652	0,1053	0,0588	0,0909	0,4452	0,089
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.3 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм швидкість (velocity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	1	1	7	3
Некероване машинне навчання	1	1	2	5	3
Видобування даних	1	0,5	1	3	2
Статистичний аналіз	0,14	0,2	0,33	1	1
Візуалізація даних	0,33	0,33	0,5	1	1
Сума	3,48	3,03	4,83	17	10

Таблиця Д.4 – Ваги альтернатив за критерієм швидкість (velocity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,2877	0,3297	0,2069	0,4118	0,3	1,536	0,3072
Некероване машинне навчання	0,2877	0,3297	0,4138	0,2941	0,3	1,6253	0,3251
Видобування даних	0,2877	0,1648	0,2069	0,1765	0,2	1,0359	0,2072
Статистичний аналіз	0,0411	0,0659	0,069	0,0588	0,1	0,3348	0,067
Візуалізація даних	0,0959	0,1099	0,1034	0,0588	0,1	0,4681	0,0936
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.5 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм різноманітність (variety)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	5	5	5	3
Некероване машинне навчання	0,2	1	1	0,5	1
Видобування даних	0,2	1	1	1	0,33
Статистичний аналіз	0,20	2	1	1	0,33
Візуалізація даних	0,33	1	3	3	1
Сума	1,93	10	11	10,5	5,67

Таблиця Д.6 – Ваги альтернатив за критерієм різноманітність (variety)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,5172	0,5	0,4545	0,4762	0,5294	2,4774	0,4955
Некероване машинне навчання	0,1034	0,1	0,0909	0,0476	0,1765	0,5184	0,1037
Видобування даних	0,1034	0,1	0,0909	0,0952	0,0588	0,4484	0,0897
Статистичний аналіз	0,1034	0,2	0,0909	0,0952	0,0588	0,5484	0,1097
Візуалізація даних	0,1724	0,1	0,2727	0,2857	0,1765	1,0073	0,2015
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.7 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм валідність (validity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	1	1	3	4
Некероване машинне навчання	1	1	3	2	3
Видобування даних	1	0,33	1	3	3
Статистичний аналіз	0,33	0,5	0,33	1	1
Візуалізація даних	0,25	0,33	0,33	1	1
Сума	3,58	3,17	5,67	10	12

Таблиця Д.8 – Ваги альтернатив за критерієм валідність (validity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,2791	0,3158	0,1765	0,3	0,3333	1,4047	0,2809
Некероване машинне навчання	0,2791	0,3158	0,5294	0,2	0,25	1,5743	0,3149
Видобування даних	0,2791	0,1053	0,1765	0,3	0,25	1,1108	0,2222
Статистичний аналіз	0,0930	0,1579	0,0588	0,1	0,0833	0,4931	0,0986
Візуалізація даних	0,0698	0,1053	0,0588	0,1	0,0833	0,4172	0,0834
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.9 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм значення (value)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	2	6	7	7
Некероване машинне навчання	0,5	1	5	5	2
Видобування даних	0,17	0,2	1	2	3
Статистичний аналіз	0,14	0,2	0,5	1	1
Візуалізація даних	0,14	0,5	0,33	1	1
Сума	1,95	3,9	12,83	16	14

Таблиця Д.10 – Ваги альтернатив за критерієм значення (value)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,5122	0,5128	0,4675	0,4375	0,5	2,43	0,486
Некероване машинне навчання	0,2561	0,2564	0,3896	0,3125	0,1429	1,3575	0,2715
Видобування даних	0,0854	0,0513	0,0779	0,125	0,2143	0,5539	0,1108
Статистичний аналіз	0,0732	0,0513	0,039	0,0625	0,0714	0,2973	0,0595
Візуалізація даних	0,0732	0,1282	0,026	0,0625	0,0714	0,3613	0,0723
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.11 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм точність (veracity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	2	5	3	3
Некероване машинне навчання	0,5	1	5	2	2
Видобування даних	0,2	0,2	1	1	1
Статистичний аналіз	0,33	0,50	1	1	3
Візуалізація даних	0,33	0,5	1	0,33	1
Сума	2	4,20	13	7,33	10

Таблиця Д.12 – Ваги альтернатив за критерієм точність (veracity)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,5	0,4762	0,3846	0,4091	0,3	2,0699	0,414
Некероване машинне навчання	0,25	0,2381	0,3846	0,2727	0,2	1,3454	0,2691
Видобування даних	0,1	0,0476	0,0769	0,1364	0,1	0,4609	0,0922
Статистичний аналіз	0,17	0,119	0,0769	0,1364	0,3	0,799	0,1598
Візуалізація даних	0,17	0,119	0,0769	0,0455	0,1	0,5081	0,1016
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.13 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм видимість (visibility)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	3	2	5	3
Некероване машинне навчання	0,33	1	1	3	2
Видобування даних	0,5	1	1	3	1
Статистичний аналіз	0,2	0,33	0,33	1	1
Візуалізація даних	0,33	0,5	1	1	1
Сума	2,37	5,83	5,33	13	8

Таблиця Д.14 – Ваги альтернатив за критерієм видимість (visibility)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,4225	0,5143	0,3750	0,3846	0,3750	2,0714	0,4143
Некероване машинне навчання	0,1408	0,1714	0,1875	0,2308	0,2500	0,9805	0,1961
Видобування даних	0,2113	0,1714	0,1875	0,2308	0,1250	0,926	0,1852
Статистичний аналіз	0,0845	0,0571	0,0625	0,0769	0,1250	0,4061	0,0812
Візуалізація даних	0,1408	0,0857	0,1875	0,0769	0,1250	0,616	0,1232
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.15 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм віртуальність (virtual)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	3	1	2	3
Некероване машинне навчання	0,33	1	0,1429	0,5	1
Видобування даних	1	7	1	2	5
Статистичний аналіз	0,5	2	0,50	1	7
Візуалізація даних	0,33	1	0,2	0,14	1
Сума	3,17	14,00	2,84	5,64	17

Таблиця Д.16 – Ваги альтернатив за критерієм віртуальність (virtual)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,3158	0,2143	0,3518	0,3544	0,1765	1,4127	0,2825
Некероване машинне навчання	0,1053	0,0714	0,0503	0,0886	0,0588	0,3744	0,0749
Видобування даних	0,3158	0,5000	0,3518	0,3544	0,2941	1,8161	0,3632
Статистичний аналіз	0,1579	0,1429	0,1759	0,1772	0,4118	1,0656	0,2131
Візуалізація даних	0,1053	0,0714	0,0704	0,0253	0,0588	0,3312	0,0662
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.17 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм мінливість (variability)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	1	3	7	7
Некероване машинне навчання	1	1	7	9	2
Видобування даних	0,33	0,14	1	3	1
Статистичний аналіз	0,14	0,11	0,33	1	1
Візуалізація даних	0,14	0,5	1	1	1
Сума	3	2,75	12,33	21,00	12,00

Таблиця Д.18 – Ваги альтернатив за критерієм віртуальність (virtual)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,33	0,3631	0,2432	0,3333	0,5833	1,8564	0,3713
Некероване машинне навчання	0,33	0,3631	0,5676	0,4286	0,1667	1,8593	0,3719
Видобування даних	0,11	0,0519	0,0811	0,1429	0,0833	0,4703	0,0941
Статистичний аналіз	0,05	0,0403	0,027	0,0476	0,0833	0,2459	0,0492
Візуалізація даних	0,0476	0,1816	0,0811	0,0476	0,0833	0,4412	0,0882
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.19 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм валентність (valence)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних
Кероване машинне навчання	1	0,33	0,33	0,2	0,14
Некероване машинне навчання	3	1	1	0,33	0,11
Видобування даних	3	1	1	0,33	0,33
Статистичний аналіз	5	3	3	1	0,33
Візуалізація даних	7	9	3	3	1
Сума	19,00	14,33	8,3333	4,8667	1,92

Таблиця Д.20 – Ваги альтернатив за критерієм валентність (valence)

Альтернативи	Кероване машинне навчання	Некероване машинне навчання	Видобування даних	Статистичний аналіз	Візуалізація даних	Сума	Вага альтернативи
Кероване машинне навчання	0,0526	0,0233	0,04	0,0411	0,0744	0,2314	0,0463
Некероване машинне навчання	0,1579	0,0698	0,12	0,0685	0,0579	0,474	0,0948
Видобування даних	0,1579	0,0698	0,12	0,0685	0,1736	0,5897	0,1179
Статистичний аналіз	0,2632	0,2093	0,36	0,2055	0,1736	1,2115	0,2423
Візуалізація даних	0,3684	0,6279	0,36	0,6164	0,5207	2,4934	0,4987
Сума	1	1	1	1	1	5	1

Таблиця Д.21 – Результати обчислення ваг альтернатив категорій аналітичного опрацювання «Великих даних»

Категорія	Обсяг (volume)	Швидкість (velocity)	Різноманітність (variety)	Валідність (validity)	Значення (value)	Точність (veracity)
Кероване машинне навчання	0,3441	0,3072	0,4955	0,2809	0,4860	0,4140
Некероване машинне навчання	0,3172	0,3251	0,1037	0,3149	0,2715	0,2691
Видобування даних	0,1243	0,2072	0,0897	0,2222	0,1108	0,0922
Статистичний аналіз	0,1253	0,0670	0,1097	0,0986	0,0595	0,1598
Візуалізація даних	0,0890	0,0936	0,2015	0,0834	0,0723	0,1016
Індекс узгодженості	0,0898	0,0324	0,0687	0,0625	0,0981	0,0861
Сума	1	1	1	1	1	1
Категорія	Видимість (visibility)	Віртуальність (virtual)	Мінливість (variability)	Валентність (valence)	Сума	Загальна вартість
Кероване машинне навчання	0,4143	0,2825	0,3713	0,0463	3,4421	0,3442
Некероване машинне навчання	0,1961	0,0749	0,3719	0,0948	2,3390	0,2339
Видобування даних	0,1852	0,3632	0,0941	0,1179	1,6067	0,1607
Статистичний аналіз	0,0812	0,2131	0,0492	0,2423	1,2057	0,1206
Візуалізація даних	0,1232	0,0662	0,0882	0,4987	1,4178	0,1418
Індекс узгодженості	0,0384	0,0761	0,0974	0,0895	0,7390	0,0739
Сума	1	1	1	1	10	1

Таблиця Е.3 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм «хмарна інфраструктура»

Альтернативи	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google BigQuery	Cisco Bigdata
IBM Bigdata Analytics	1	3	5	9	3	9
HP Bigdata	0,33	1	3	7	3	7
Microsoft Bigdata	0,2	0,33	1	3	0,5	3
Oracle Bigdata Analytics	0,11	0,14	0,33	1	0,5	1
Google BigQuery	0,33	0,33	2	2	1	3
Cisco Bigdata	0,11	0,14	0,33	1	0,33	1
Сума	2,09	4,95	11,67	23	8,33	24,00

Таблиця Е.4 – Ваги альтернатив за критерієм «хмарна інфраструктура»

Альтернативи	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google Big Query	Cisco Bigdata	Сума	Вага альтернативи
IBM Bigdata Analytics	0,4787	0,6058	0,4286	0,3913	0,36	0,375	2,6394	0,4399
HP Bigdata	0,1596	0,2019	0,2571	0,3043	0,36	0,2917	1,5747	0,2624
Microsoft Bigdata	0,0957	0,0673	0,0857	0,1304	0,06	0,125	0,5642	0,094
Oracle Bigdata Analytics	0,0532	0,0288	0,0286	0,0435	0,06	0,0417	0,2558	0,0426
Google BigQuery	0,1596	0,0673	0,1714	0,087	0,12	0,125	0,7303	0,1217
Cisco Bigdata	0,0532	0,0288	0,0286	0,0435	0,04	0,0417	0,2358	0,0393
Сума	1	1	1	1	1	1	6	1

Таблиця Е.5 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм «онлайн-аналітика»

Альтернативи	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google BigQuery	Cisco Bigdata
IBM Bigdata Analytics	1	5	5	5	3	3
HP Bigdata	0,2	1	1	0,5	1	0,33
Microsoft Bigdat	0,2	1	1	1	0,33	0,20
Oracle Bigdata Analytics	0,2	2	1	1	0,33	0,25
Google BigQuery	0,33	1	3	3	1	0,33
Cisco Bigdata	0,33	3	5	4	3	1
Сума	2,27	13	16	14,5	8,67	5,12

Таблиця Е.9 – Дані для формування матриці попарних порівнянь за критерієм «вартість»

Альтернативи	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google BigQuery	Cisco Bigdata
IBM Bigdata Analytics	1	3	7	4	5	7
HP Bigdata	0,33	1	5	2	1	3
Microsoft Bigdata	0,14	0,2	1	1	0,2	0,33
Oracle Bigdata Analytics	0,25	0,5	1	1	1	3
Google BigQuery	0,2	1	5	1	1	3
Cisco Bigdata	0,14	0,33	3	0,33	0,33	1
Сума	2,07	6,03	22	9,33	8,53	17,33

Таблиця Е.10 – Ваги альтернатив за критерієм «вартість»

Ваги альтернатив	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google BigQuery	Cisco Bigdata	Сума	Вага альтернативи
IBM Bigdata Analytics	0,4833	0,4972	0,3182	0,4286	0,5859	0,4038	2,7171	0,4528
HP Bigdata	0,1611	0,1657	0,2273	0,2143	0,1172	0,1731	1,0587	0,1764
Microsoft Bigdata	0,0690	0,0331	0,0455	0,1071	0,0234	0,0192	0,2975	0,0496
Oracle Bigdata Analytics	0,1208	0,0829	0,0455	0,1071	0,1172	0,1731	0,6466	0,1078
Google BigQuery	0,0967	0,1657	0,2273	0,1071	0,1172	0,1731	0,8871	0,1478
Cisco Bigdata	0,0690	0,0552	0,1364	0,0357	0,0391	0,0577	0,3931	0,0655
Сума	1	1	1	1	1	1	6	1

Таблиця Е.11 – Матриця попарних порівнянь для вибору альтернатив за критерієм «Прикладні програмні інтерфейси (API)»

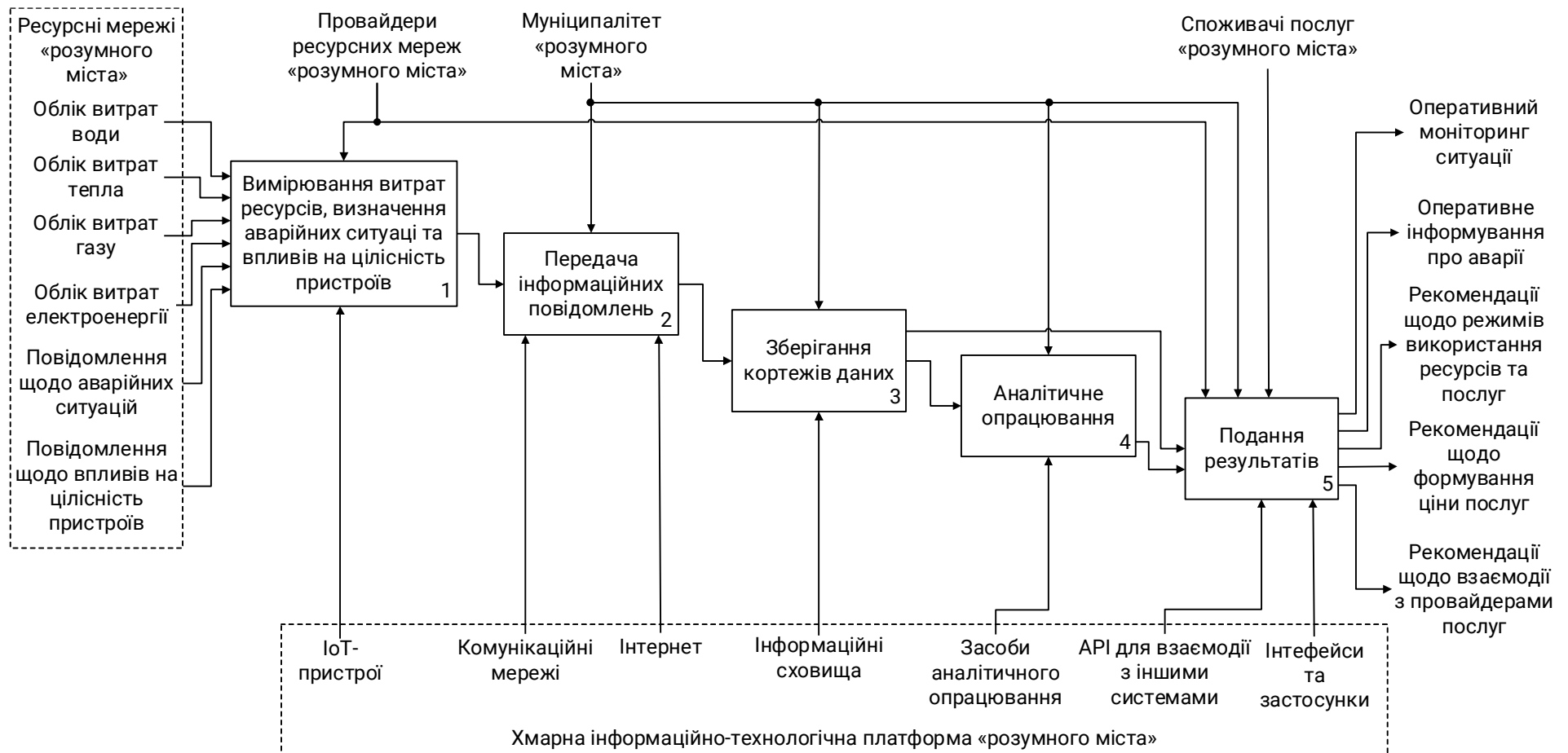
Альтернативи	IBM Bigdata Analytics	HP Bigdata	Microsoft Bigdata	Oracle Bigdata Analytics	Google BigQuery	Cisco Bigdata
IBM Bigdata Analytics	1	3	8	5	5	7
HP Bigdata	0,33	1	3	4	2	3
Microsoft Bigdata	0,125	0,33	1	1	1	3
Oracle Bigdata Analytics	0,2	0,25	1	1	1	4
Google BigQuery	0,2	0,5	1	1	1	3
Cisco Bigdata	0,14	0,33	0,33	0,25	0,33	1
Сума	2	5,42	14,33	12,25	10,33	21

Таблиця Е.17 – Зважені результати критеріїв атрибутів вибору аналітичної ІТР

Критерій Платформа	Обчислювальні ресурси	Хмарна інфраструктура	Онлайн-аналітика	Офлайн-аналітика	Вартість	Прикладні програмні інтерфейси (API)	Сервіс
IBM Bigdata Analytics	0,0626	0,13	0,0233	0,0263	0,0431	0,0164	0,0219
HP Bigdata	0,1013	0,0776	0,0043	0,0247	0,0168	0,0071	0,0385
Microsoft Bigdata	0,059	0,0278	0,0036	0,0251	0,0047	0,003	0,0029
Oracle Bigdata Analytics	0,0353	0,0126	0,0044	0,0086	0,0103	0,0034	0,0108
Google BigQuery	0,048	0,036	0,0077	0,0101	0,0141	0,0034	0,0050
Cisco Bigdata	0,0224	0,0116	0,0145	0,0043	0,0062	0,0015	0,0099
Індекс узгодженості	0,0258	0,015	0,0049	0,0025	0,0094	0,0026	0,0077
Сума	0,3287	0,2955	0,0578	0,099	0,0953	0,0347	0,0890

Додаток Ж

Декомпозиція ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»



Актори та діаграми прецедентів ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів у ресурсних мережах «розумного міста»

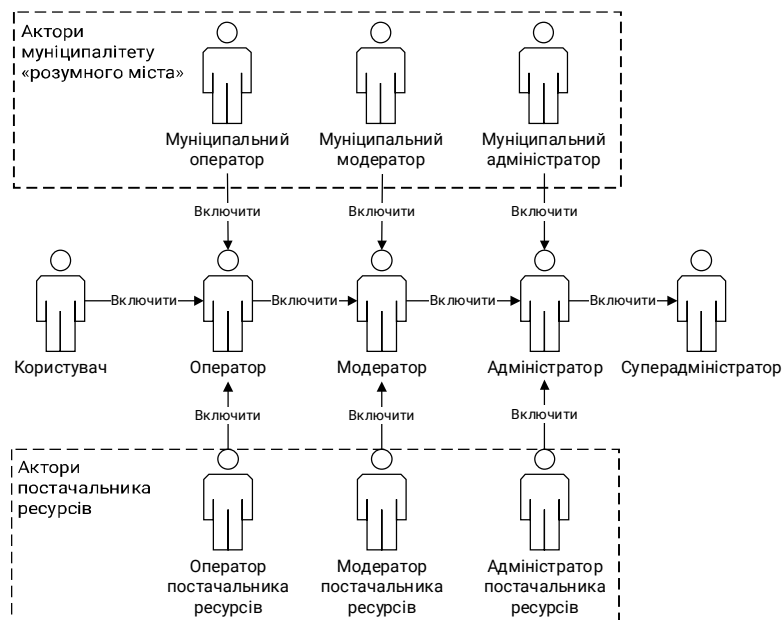


Рисунок 3.1 – Актори ІС інформаційно-технологічного супроводу процесів що протікають у ресурсних мережах «розумного міста»

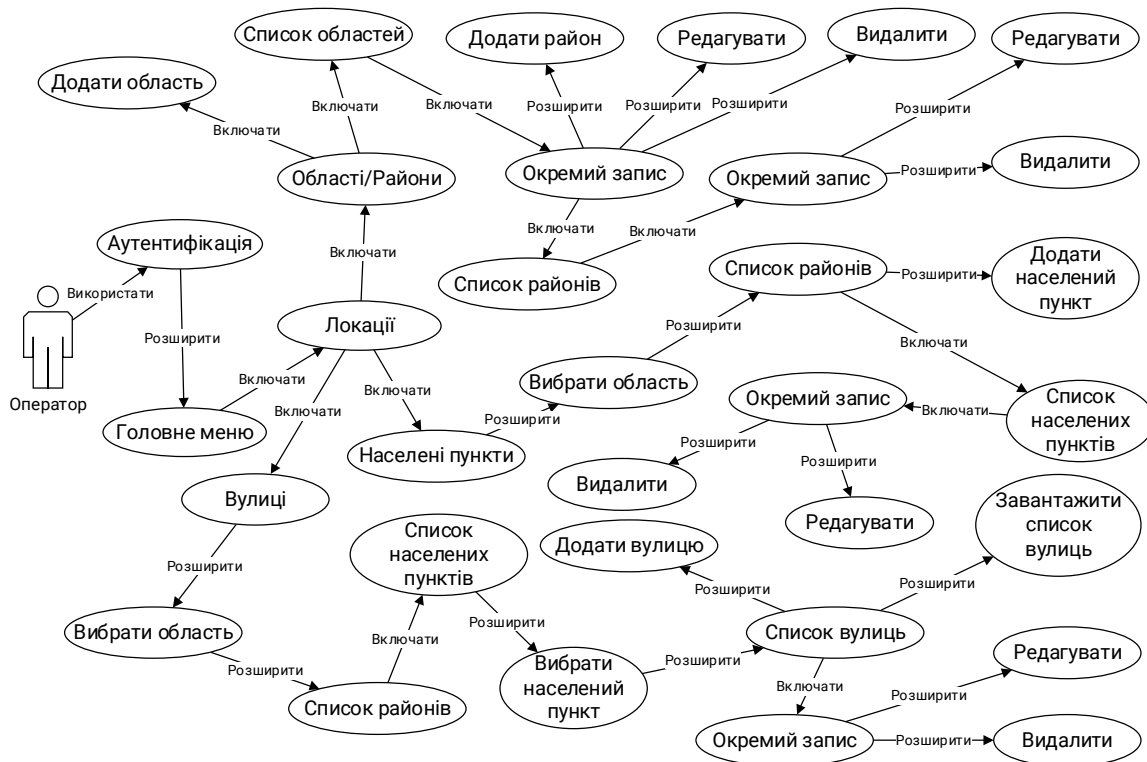


Рисунок 3.2 – Діаграма прецедентів актора «Оператор» для розділу «Локації»



Рисунок 3.3 – Діаграма прецедентів актора «Суперадміністратор» для розділів «Налаштування», «Організації» та «Користувачі»

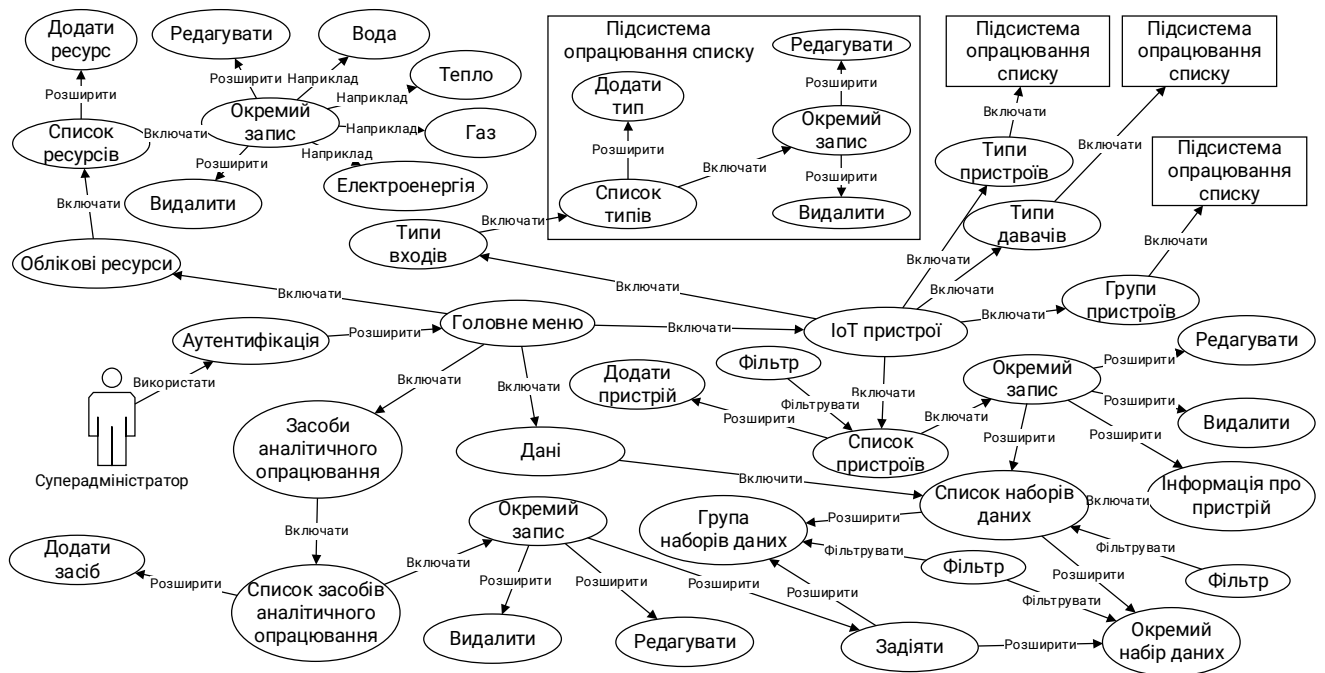


Рисунок 3.4 – Діаграма прецедентів актора «Суперадміністратор» для розділів «Облікові ресурси», «ІоТ-пристрої», «Дані» та «Засоби аналітичного опрацювання»

Актори та діаграми прецедентів ІС інформаційно-технологічного супроводу «Консолідованого соціокомунікаційного ресурсу «розумного міста»»

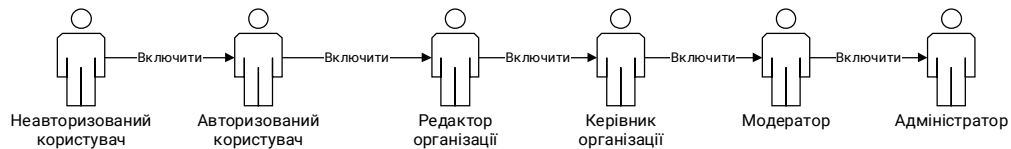


Рисунок И.1 – Актори ІС «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс «розумного міста»»

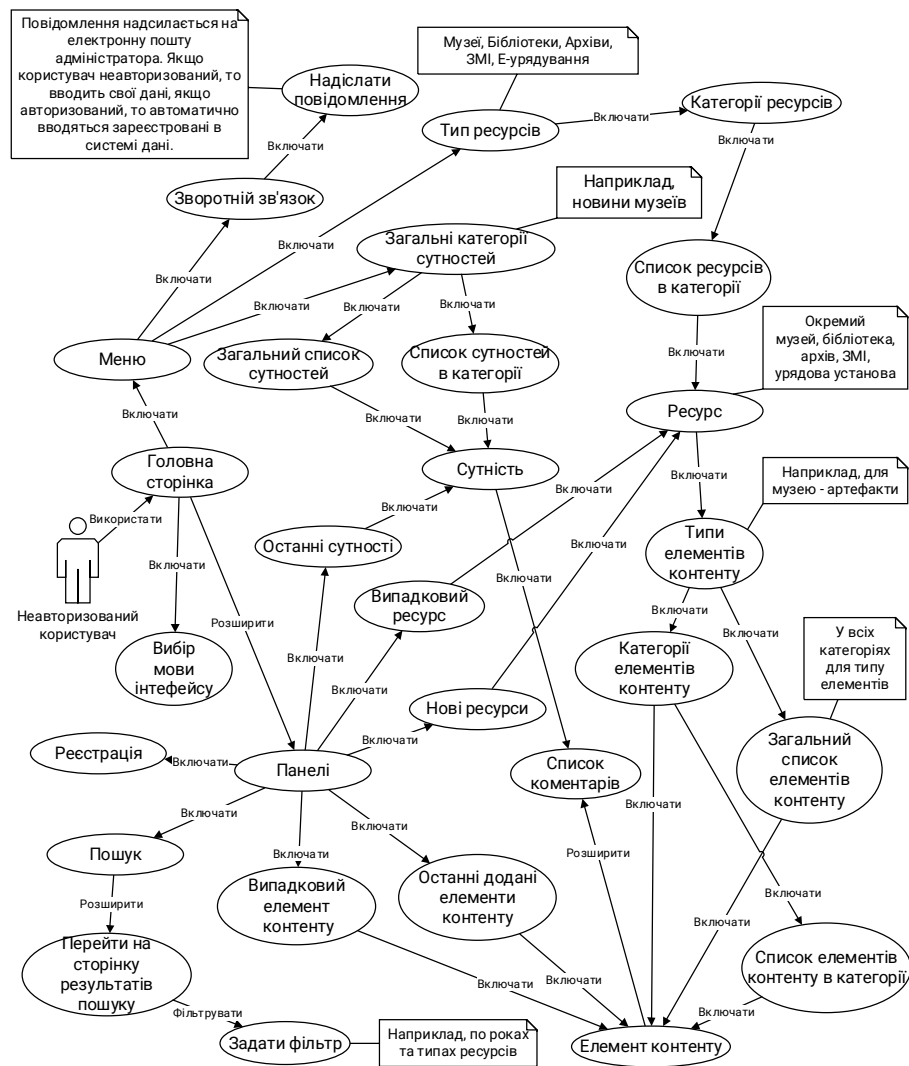


Рисунок И.2 – Діаграма прецедентів для актора «Неавторизований користувач» ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»»



Рисунок И.5 – Діаграма прецедентів для актора «Керівник організації» ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»»

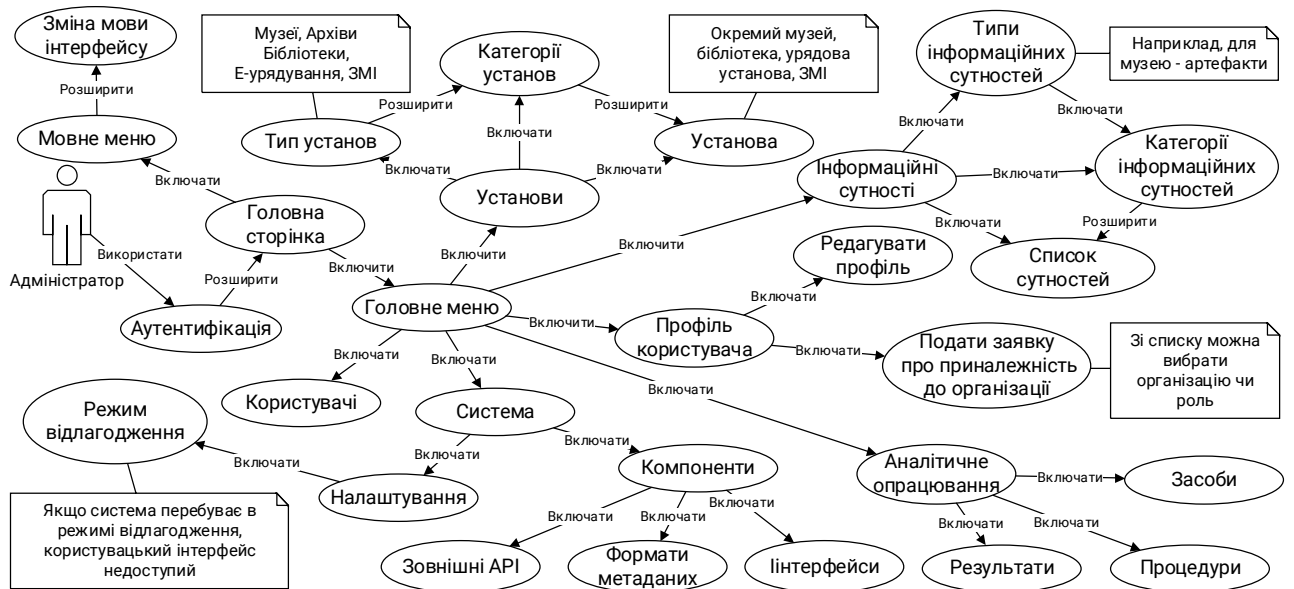


Рисунок И.6 – Діаграма прецедентів для актора «Адміністратор» ІС «Консолідований інформаційний соціокомунікаційний ресурс «розумного міста»»

Структура БД для інформаційно-технологічного супроводу процесів у міських ресурсних мережах

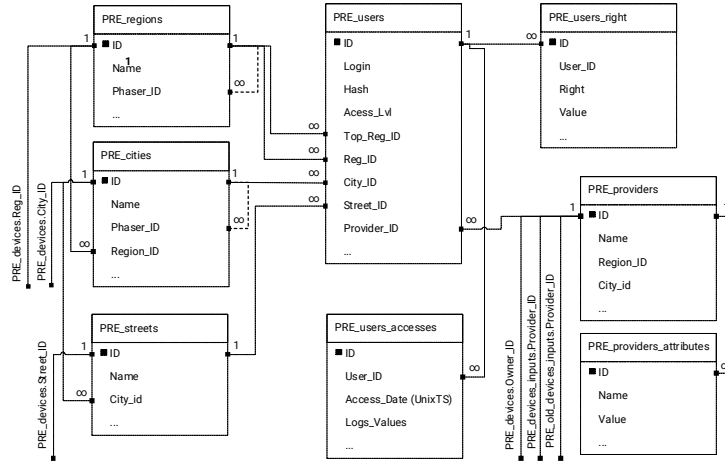


Рисунок К.1 – Інформаційні таблиці для зберігання відомостей щодо географічних локацій, провайдерів послуг, облікових записів та прав користувачів

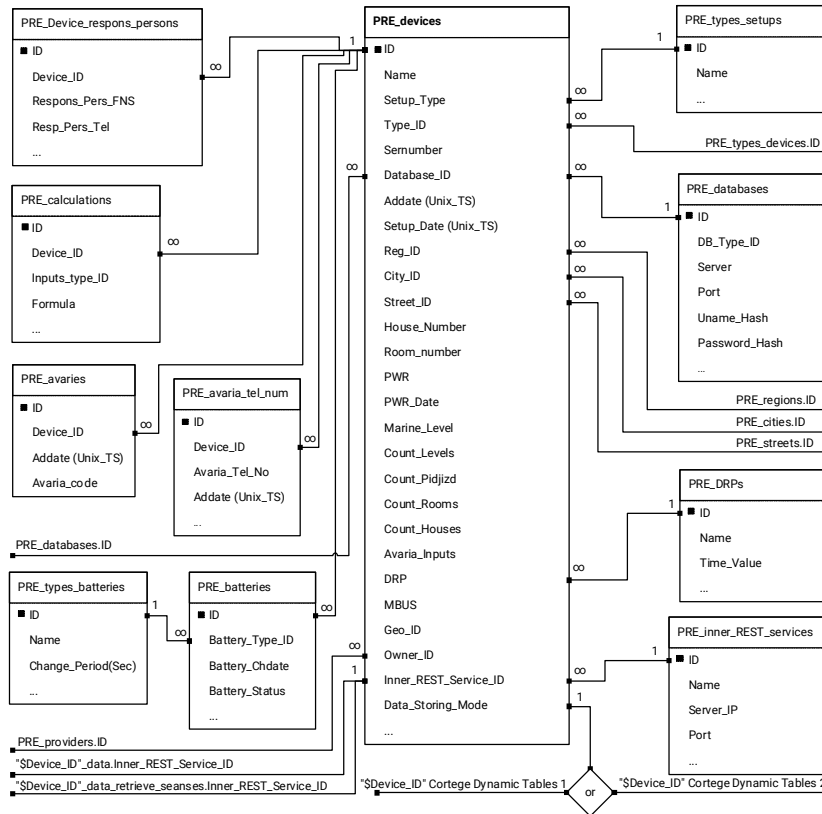


Рисунок К.2 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо пристроїв, батарей та вхідних REST-сервісів

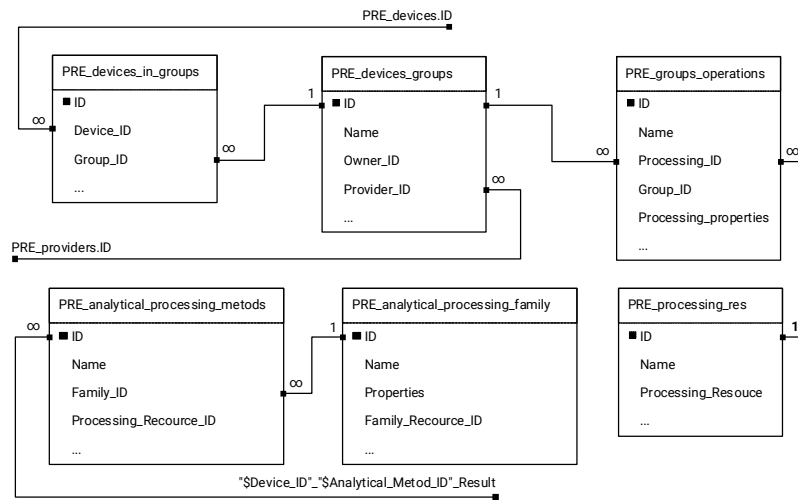


Рисунок К.5 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо групування пристроїв та методів аналітичного опрацювання

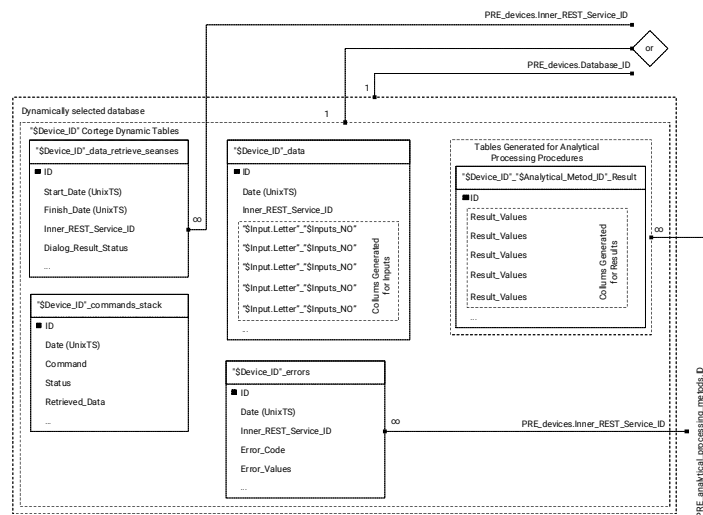


Рисунок К.6 – Таблиці для зберігання даних щодо інформаційних наборів отриманих від давачів та результатів їх аналітичного опрацювання

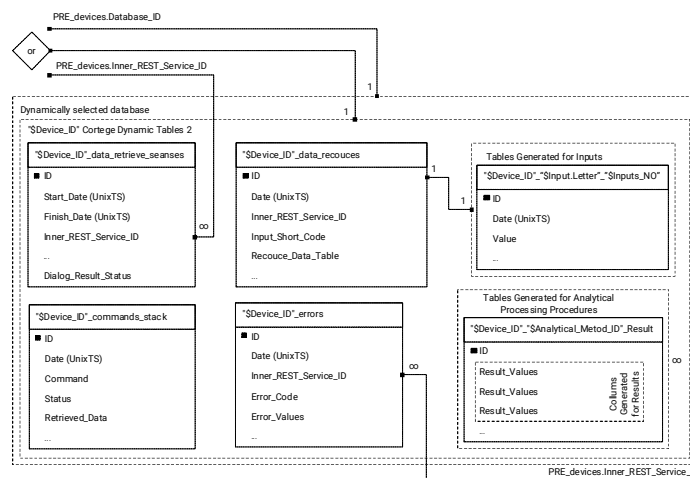


Рисунок К.7 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо інформаційних наборів отриманих від давачів та їх аналітичного опрацювання

Структура БД для інформаційно-технологічного супроводу міського соціокомунікаційного ресурсу

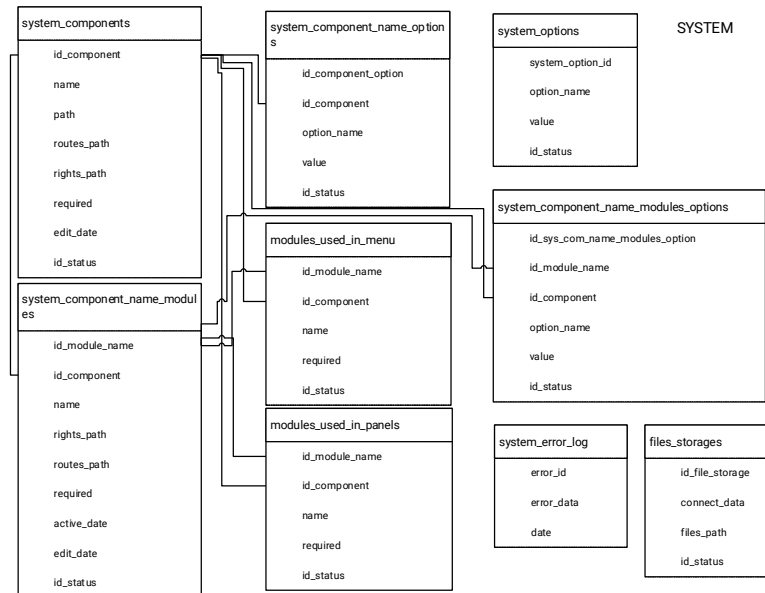


Рисунок Л.1 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо системних властивостей, параметрів та сутностей

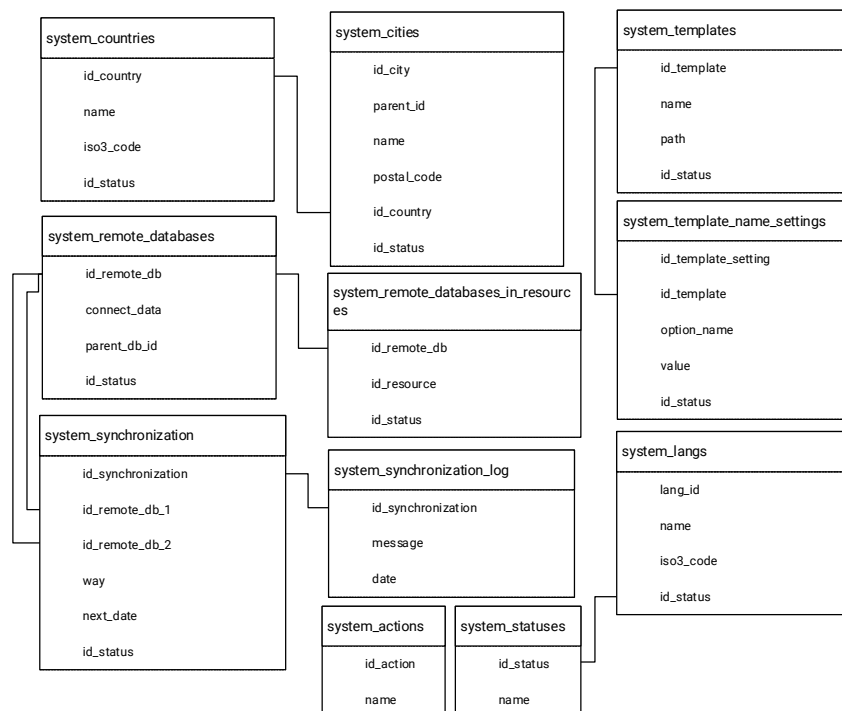


Рисунок Л.2 – Додаткові інформаційні таблиці для зберігання даних щодо системних властивостей, параметрів та сутностей

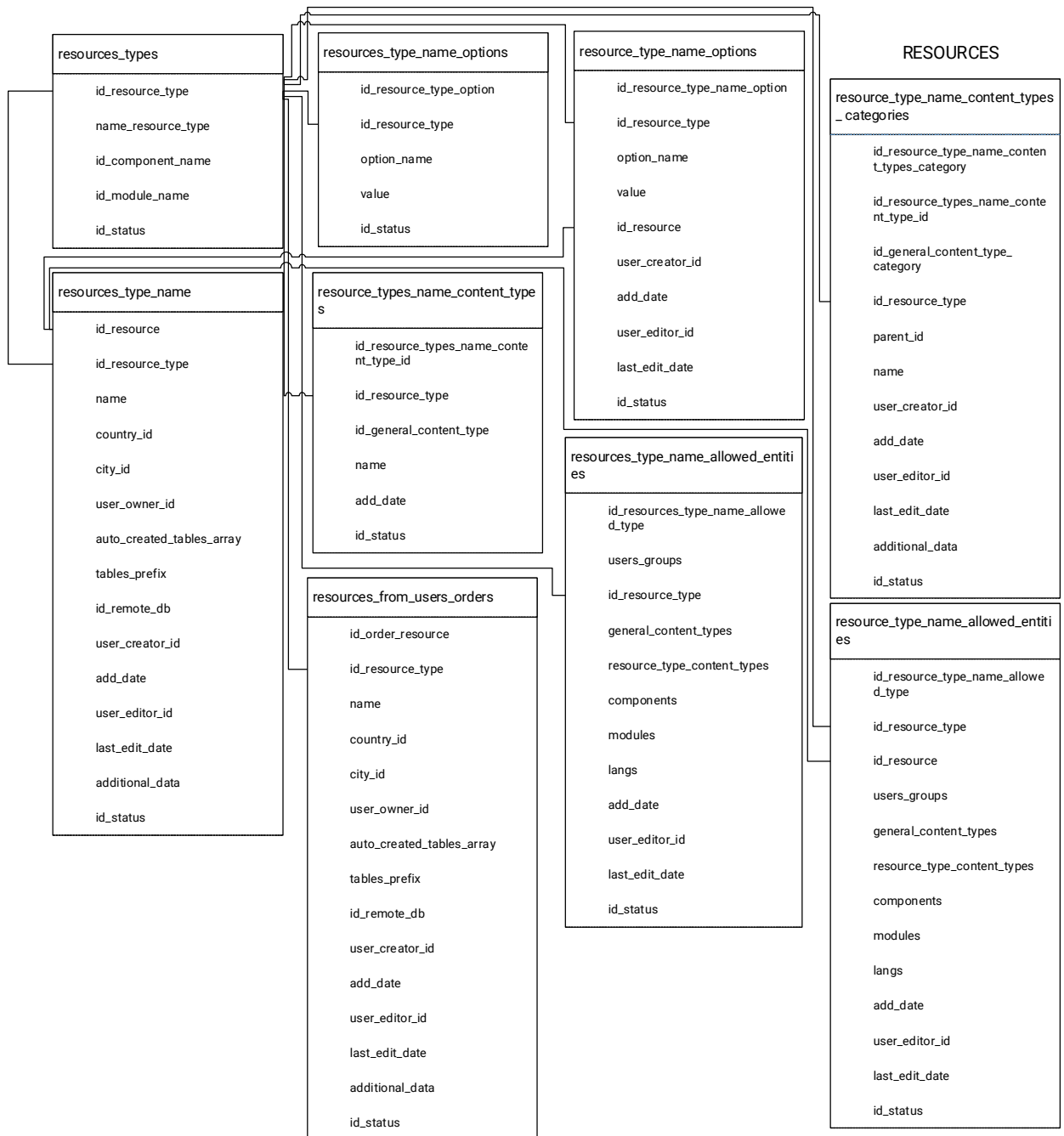


Рисунок Л.3 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо соціокомунікаційних ресурсів

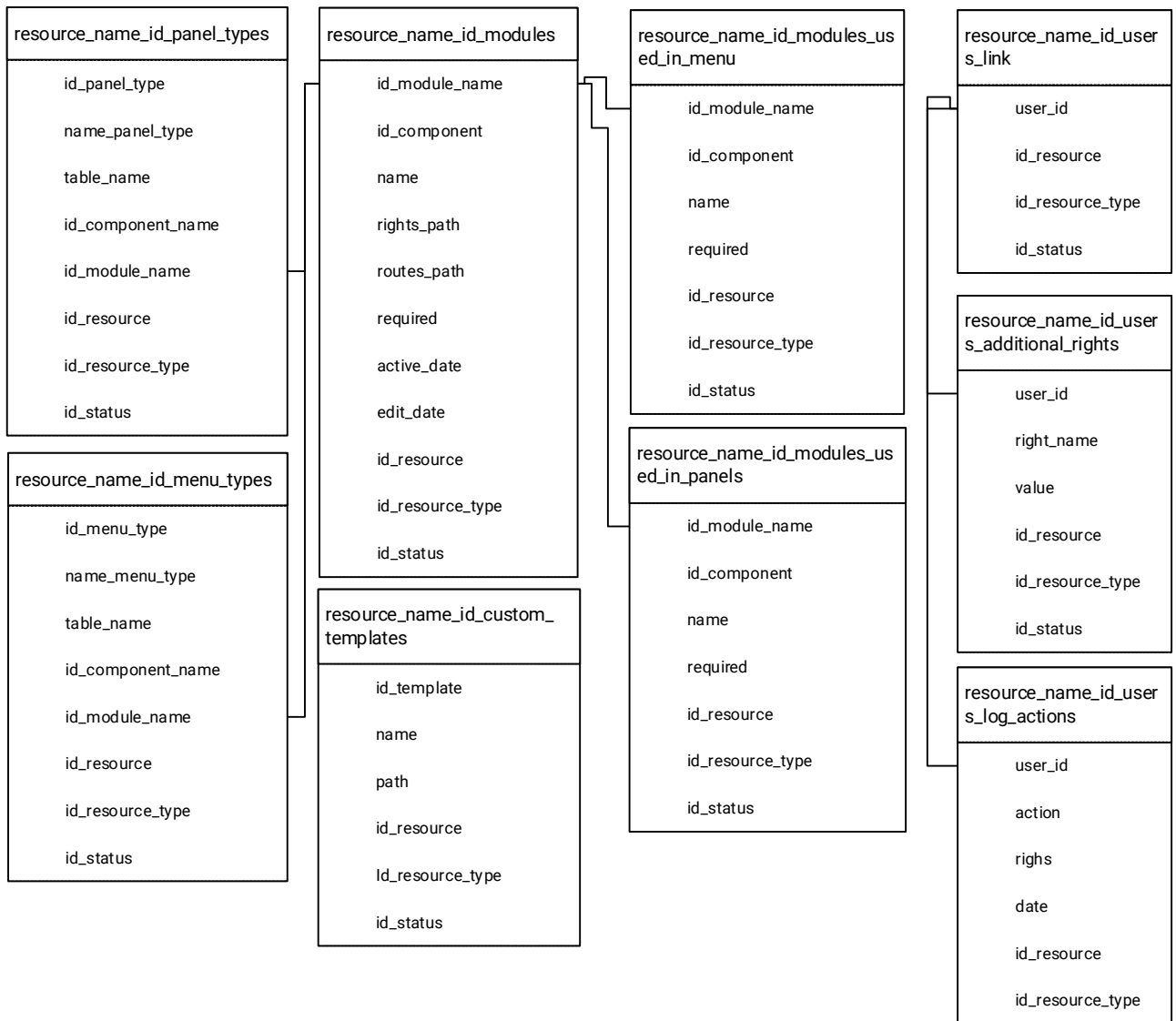


Рисунок Л.4 – Додаткові інформаційні таблиці для зберігання даних щодо соціокомунікаційних ресурсів

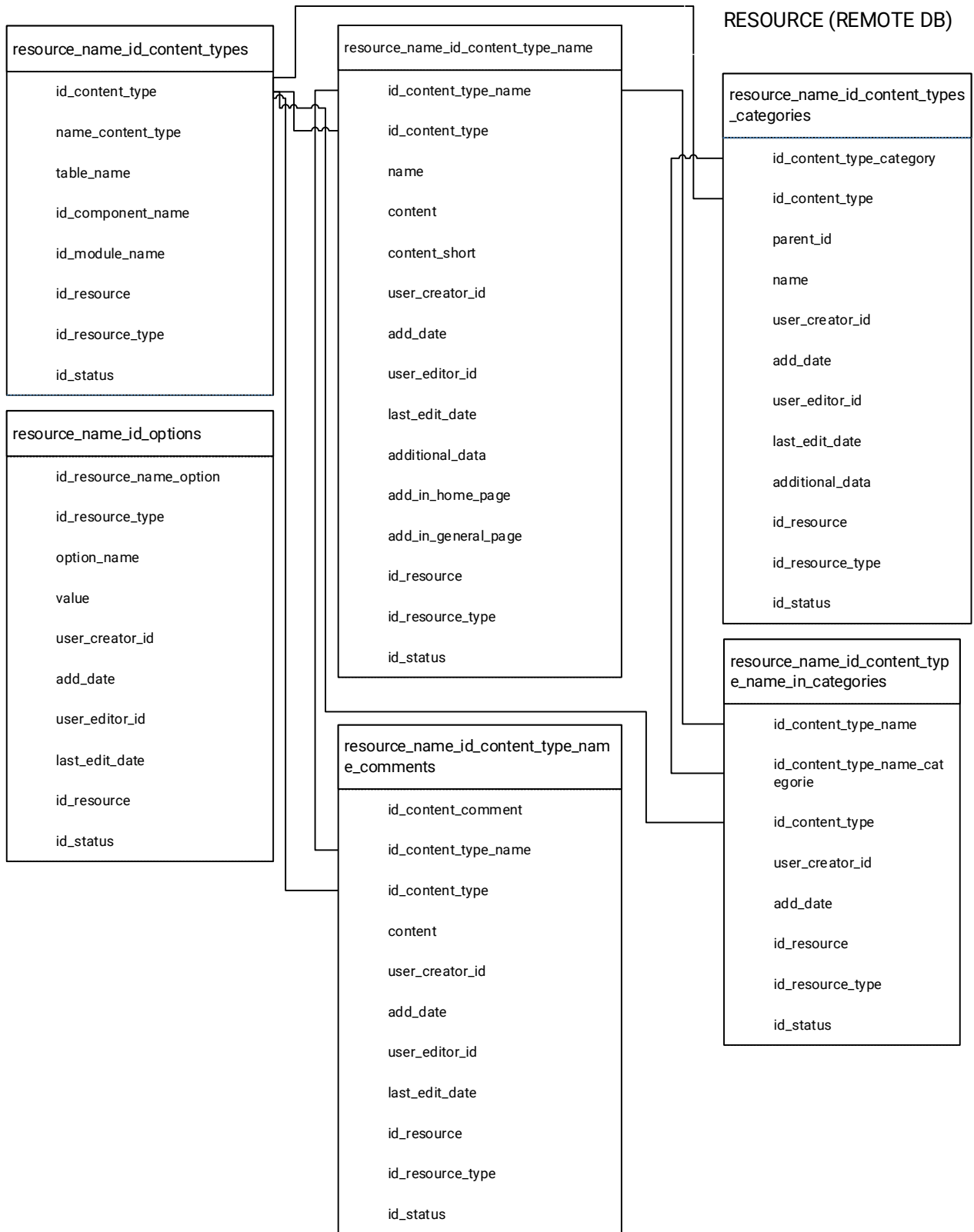


Рисунок Л.5 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо інформаційного інформаційних соціокомунікаційних ресурсів у віддалених БД

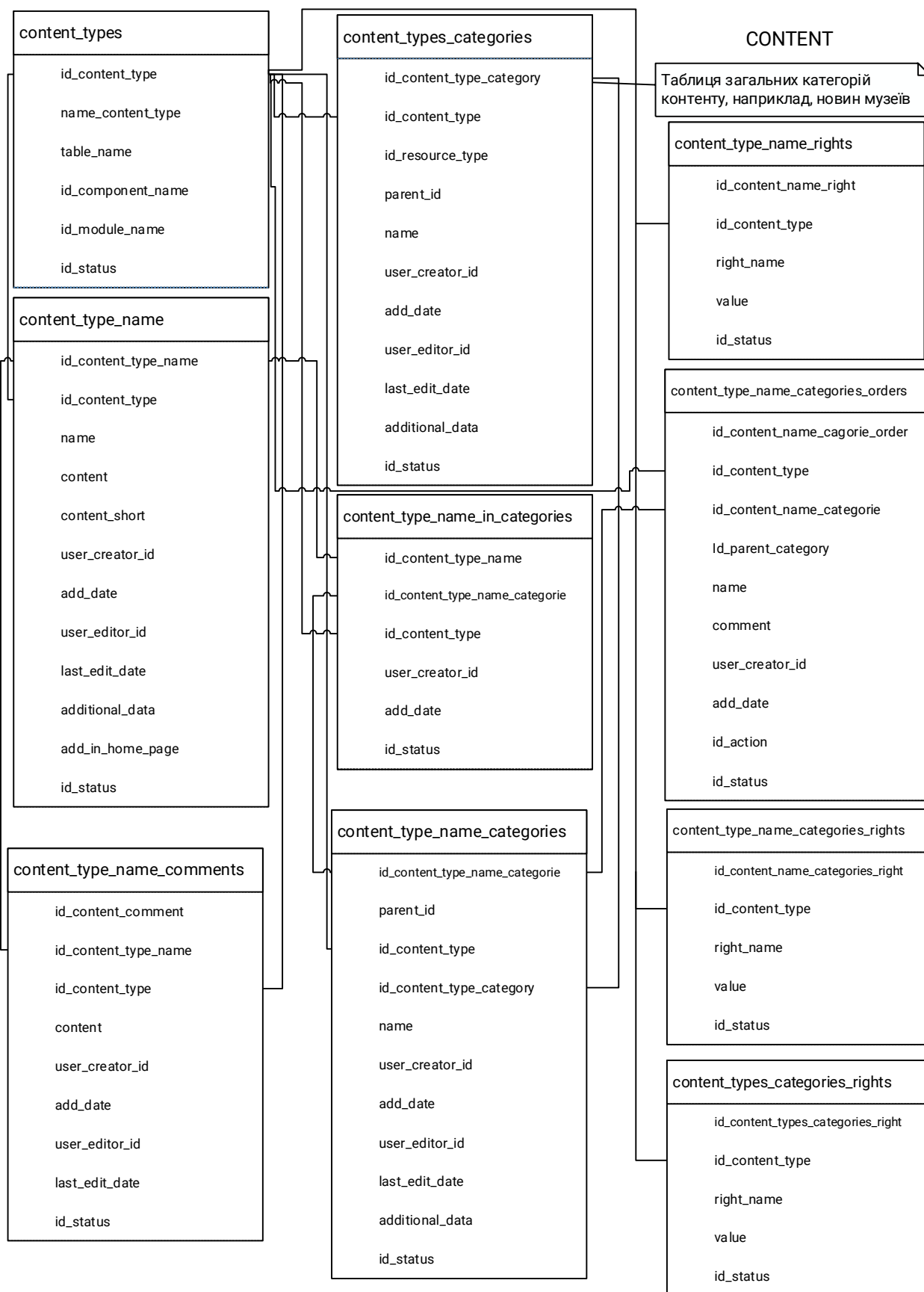


Рисунок Л.6 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо інформаційного контенту

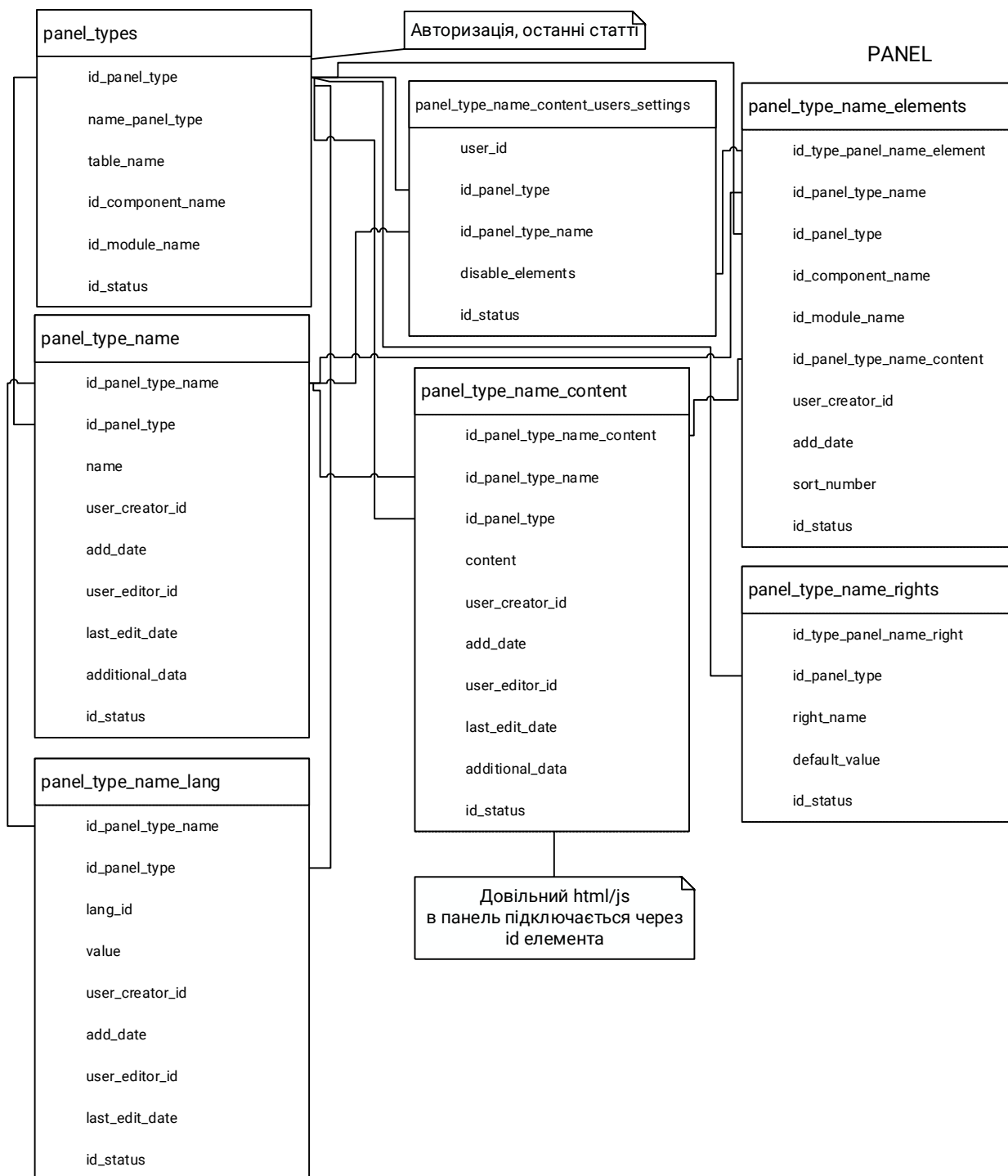


Рисунок Л.7 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо інформаційних панелей

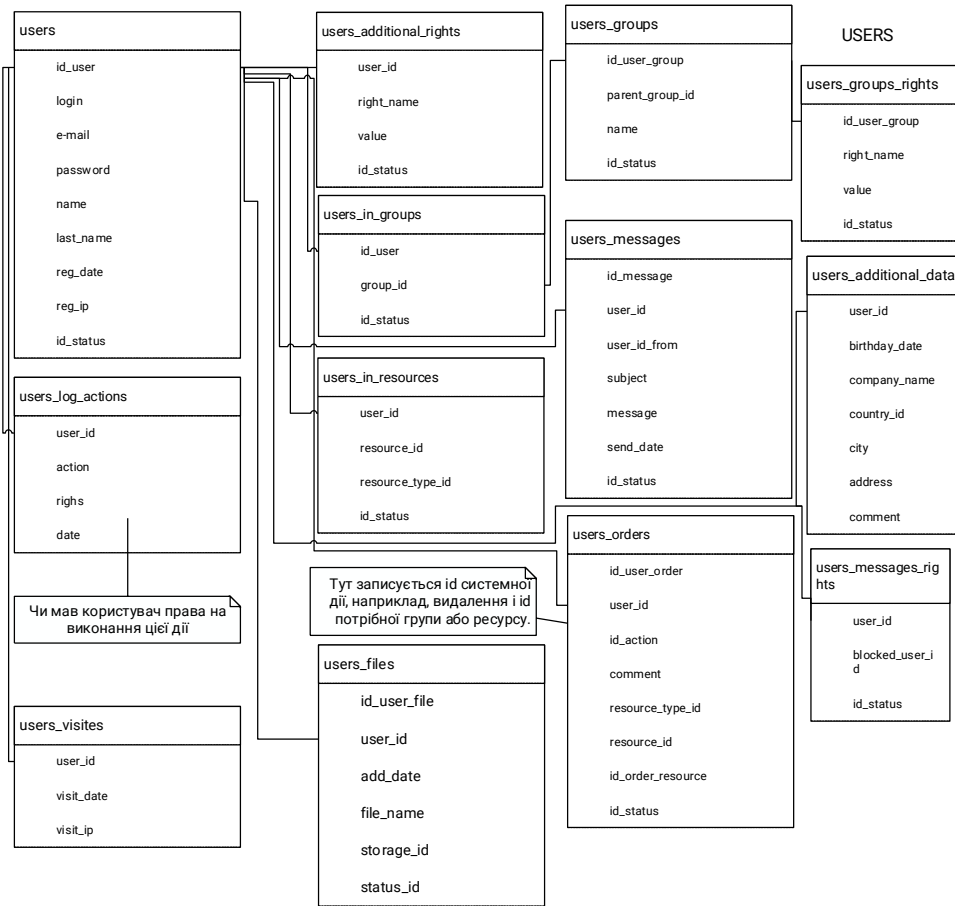


Рисунок Л.8 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо користувачів

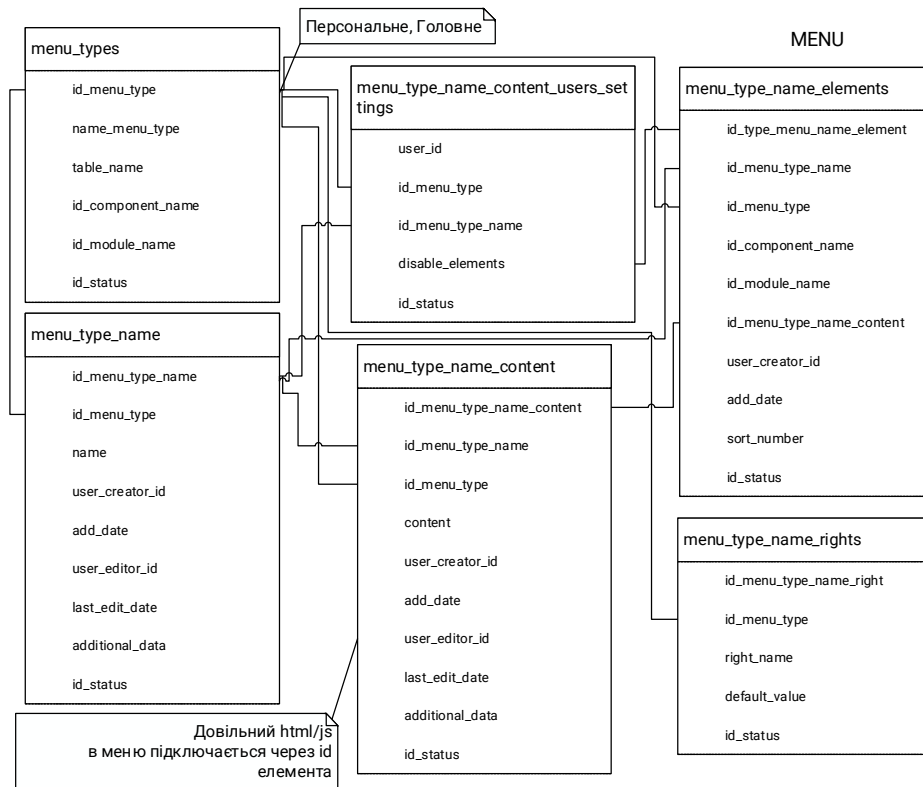


Рисунок Л.9 – Інформаційні таблиці для зберігання даних щодо меню

Програмний код індексного файлу прототипу ПАК «розумного міста»

```

<?php header('Content-type: text/html; charset=utf-8');
/**
 * @version          $Id: index.php v.04 2019-01-12 17:28:00
 * @package          Ternopil SmartCity system prototype
 * @copyright        Copyright (C) 2019 All rights reserved.
 * @creator          Oleksii Duda
 * @creator_url      http://www.smartcity.te.ua
 * @creator_email    Oleksij.Duda@gmail.com
 */
ini_set('display_errors',1);
error_reporting(E_ALL ^E_NOTICE);
//begin timer
function microtime_float() {
    list($usec, $sec)=explode(" ", microtime());
    return ((float)$usec);
}
$start_time=microtime_float();

$ENABLE_ACCESS=1;
$SQL_CONNECTED=0;
// Predefined template variables
$output_debug = '';
$output_head = '';
$output_languages = '';
$output_top_menu = '';
$output_info_menu = '';
$output_content = '';
$output_enable_form=0;
$output_enable_component=0;
//begin lang section
$LANG_SYSTEM_NO_MODULE='Не завантажено модуль - ';
$LANG_SYSTEM_OK_MODULE='Завантажено модуль - ';

//назви системних модулів
$LANG_SYSTEM_INPUT_FILTER='Вхідний фільтр';
$LANG_SYSTEM_LANGUAGE_SELECTOR='Селектор мови';
$LANG_SYSTEM_DATABASE_CONNECTOR='Підключення до СКБД MySQL';
$LANG_SYSTEM_USER_LOGIN='Реєстрація та визначення прав користувачів';
$LANG_SYSTEM_NO_TOP_MENU_CONFIGURATION='Зміст головного навігаційного меню';
$LANG_SYSTEM_ALL_MENU_CONFIGURATION='Зміст навігаційного меню для всіх користувачів';
$LANG_SYSTEM_NAVI_SYSTEM='Навігаційна система';
$LANG_SYSTEM_CONTENT_SYSTEM='Система вибору контенту';
$LANG_SYSTEM_DEBUG_VIEW_MODULE='Відображення debug';
$LANG_SYSTEM_TEMPLATE_SELECTOR='Шаблон';
$LANG_SYSTEM_WELCOME='Відображення сторінки входу користувача';

```



```

//end lang section
//begin configuration loader
if(!file_exists('configuration.php')) {$debug_message[]='NOT
ENABLED CONFIGURATION FILE'; $debug_class[]='r';
$time=microtime_float(); $debug_time[]=date("Y-m-d
H:i:s").$time;}else{
include('configuration.php');
//begin definition loader
if($DEBUG_MODE_ENABLED) {$debug_message[]='Конфігурація
завантажена'; $debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
if(!file_exists($CONFIGURATION_DIR.'/definition.php'))
{$debug_message[]='NOT ENABLED DEFINITION FILE';
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($CONFIGURATION_DIR.'/definition.php');
if($DEBUG_MODE_ENABLED) {$debug_message[]='Definition
завантажена'; $debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
//begin system base modules
//begin input filter
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $INPUT_FILTER.'/';
$MODULE_FILE=$INPUT_FILTER.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_INPUT_FILTER;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;};}
//begin language selector
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $LANGUAGE_SELECTOR.'/';
$MODULE_FILE=$LANGUAGE_SELECTOR.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_LANGUAGE_SELECTOR;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
}
//end language selector
//begin database connector
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $DATABASE_CONNECTOR.'/';
$MODULE_FILE=$DATABASE_CONNECTOR.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_DATABASE_CONNECTOR;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;

```

```

$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
};//end database connector
//begin user_login
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $USER_LOGIN.'/';
$MODULE_FILE=$USER_LOGIN.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_USER_LOGIN;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
};//end user_login

//begin navigation systems
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $NAVI_SYSTEM.'/';
$MODULE_FILE=$NAVI_SYSTEM.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_NAVI_SYSTEM;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
};//end navigation systems
//begin content systems
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $CONTENT_SYSTEM.'/';
$MODULE_FILE=$CONTENT_SYSTEM.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_CONTENT_SYSTEM;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
};//end content systems
//end system base modules
};//end input filter

```

```

} //end include definition file;
} //end include configuration file
//begin output modules
//begin debug view module
$MODULE_PATH=$SYSTEM_MODULES_DIR.'/'. $DEBUG_VIEW_MODULE.'/';
$MODULE_FILE=$DEBUG_VIEW_MODULE.'.php';
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_DEBUG_VIEW_MODULE;
if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='r'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}else{
if($DEBUG_MODE_ENABLED)
{$debug_message[]=$LANG_SYSTEM_OK_MODULE.$MODULE_NAME;
$debug_class[]='g'; $time=microtime_float();
$debug_time[]=date("Y-m-d H:i:s").$time;}
include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
} //end debug view module
//begin check login
if($NOT_LOGIN && !$LOGIN) {
    $output_top_menu='';
    if($output_not_login_message) {
        $output_content=$output_not_login_message. $output_login;
        $output_login='';
    }
} //begin template selector
$MODULE_PATH=$TEMPLATES_DIRECTORY.'/'. $CURRENT_TEMPLATE.'/';
if(!$output_enable_component) {
    $MODULE_FILE='index.php';
}else{if(!$output_enable_form) { $MODULE_FILE='structure.php';
    }else{$MODULE_FILE='defaultform.php';}}
//echo $MODULE_FILE;
$MODULE_NAME=$LANG_SYSTEM_TEMPLATE_SELECTOR;
if(!$output_csv_count){
    if(!file_exists($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE))
{$LANG_SYSTEM_NO_MODULE.$MODULE_NAME.date("Y-m-d
H:i:s").microtime_float();}else{
    include($ABSOLUTE_DIR.$MODULE_PATH.$MODULE_FILE);
} //end template selector
}elseif($output_csv_count>1){
    header("Content-type: text/csv");
    header("Cache-Control: no-store, no-cache");
    header('Content-Disposition: attachment;
filename="'. $output_csv_file_name.'.csv"');
    header("Content-Transfer-Encoding: cp1251");
    echo iconv("UTF-8", "Windows-
1251", $output_csv_header).iconv("UTF-8", "Windows-
1251", $output_csv_data);
}else{ echo "No selected data for output"; }
} //end output modules
//$time=microtime_float();
//echo $time - $start_time;
?>

```

Додаток Н

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Директор ТОВ Ремонтно-механічний завод «Обрій»

Шніцар В. Я.
 « 23 » вересня 2019 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження Дуди Олексія Михайловича
«Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та
соціокомунікаційних мережах»
в ТОВ Ремонтно-механічний завод «Обрій»

Результати, отримані Дудою О. М. при виконанні ним дисертаційного дослідження «Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах», зокрема:

- прототип сховища даних, розроблений на основі гіперкубів з використанням інформаційної технології багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах;
- метод опрацювання подій в міських ресурсних мережах;
- програмно алгоритмічний комплекс для супроводу процесів, що протікають в міських ресурсних мережах;

використано для збирання та опрацювання колекцій даних отриманих з використанням розроблених ТОВ Ремонтно-механічний завод «Обрій» «розумних» давачів та програмно-апаратних комплексів, інтегрованих у міські ресурсні мережі.

Впровадження результатів дисертаційної роботи дозволило підвищити ступінь повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в міських ресурсних мережах та прискорити процеси оперативного реагування на аварійні та позаштатні ситуації в них шляхом розроблення ефективних рекомендацій щодо реагування на зміну станів мереж водо та теплопостачання на основі запропонованого дисертантом методу.

Даний акт не є підставою для проведення фінансових розрахунків.

Провідний спеціаліст
 ТОВ Ремонтно-механічний
 завод «Обрій»



Бак М.І.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Директор ТОВ
 «Укрзахідспецмонтаж»

Поліщук П. М.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження Дуди Олексія Михайловича
«Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та
соціокомунікаційних мережах»
в ТОВ «Укрзахідспецмонтаж»

Результати, отримані Дудою О. М. при виконанні ним дисертаційного дослідження «Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах», зокрема:

- прототип сховища даних, розроблений на основі гіперкубів з використанням інформаційної технології багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах;
- метод вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних»;
- метод вибору платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних;

використано для збирання та опрацювання колекцій даних отриманих з використанням встановлених ТОВ «Укрзахідспецмонтаж» програмно-апаратних комплексів та інтегрованих у міське середовище різнотипових дачачів.

Впровадження результатів дисертаційної роботи дозволило підвищити ступінь повноти подання інформації щодо процесів, що протікають в міському середовищі та покращити процедури їх аналітичного опрацювання завдяки використанню запропонованих дисертантом методів.

Даний акт не є підставою для проведення фінансових розрахунків.

Інженер
 ТОВ «Укрзахідспецмонтаж»

Вдовинюк С. І.
 13.09.2019рр.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження Дуди Олексія Михайловича
«Інформаційні технології супроводу процесів в міських
ресурсних та соціокомунікаційних мережах»
в Державному архіві Тернопільської області

Результати, отримані Дуди О. М. при виконанні дисертаційного дослідження «Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах», зокрема інформаційна технологія багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах та спроектований з її використанням прототип сховища даних на основі гіперкубів для соціокомунікаційних мереж в складі програмно-алгоритмічного комплексу «Консолідований соціокомунікаційний інформаційний ресурс "розумного міста"» були використані в процесах оцифрування колекцій архівних документів та формування відповідних баз даних у Державному архіві Тернопільської області.

Використання зазначених результатів дозволило підвищити якість інформаційного обслуговування користувачів в Державному архіві Тернопільської області та організації ефективної роботи служб та сервісів задоволення інформаційних потреб громадян.

Даний акт не є підставою для проведення фінансових розрахунків.

Директор державного архіву
Тернопільської області



Ф. І. Полянський.

110.09.2019р/1



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи у навчальний процес
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Ми, що нижче підписалися, представники Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: начальник навчального відділу Ткаченко І. Г., завідувач кафедри комп'ютерних наук (КН) Боднарчук І. О., доцент кафедри КН Мацюк О. В., склали даний акт про те, що наукові та практичні результати дисертаційної роботи Дуди О. М. на тему «Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах» представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук впроваджено в навчальний процес кафедри КН Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються під час викладання дисциплін «Бази даних», «Смарт-технології та Інтернет-речей» та «Електронне місто та регіон».

Зокрема у навчальному процесі використовуються запропоновані О. М. Дудою:

- Прототипи сховища даних для ресурсних та соціокомунікаційних мереж побудовані на основі гіперкубів з використанням інформаційної технології багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах (навчальна дисципліна «Бази даних» для підготовки бакалаврів за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»).
- Інформаційна технологія багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах, метод вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» та метод вибору платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних (навчальна дисципліна «Смарт-технології та Інтернет-речей», для підготовки бакалаврів за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»).
- Інформаційно-технологічна матриця «розумного міста» та архітектура інформаційно-технологічних платформ «розумного міста» побудована на основі інформаційної технології супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах (навчальна дисципліна «Електронне місто та регіон», для підготовки магістрів за спеціальностями 122 «Комп'ютерні науки» та 281 «Публічне управління та адміністрування»).

Використання результатів наукової роботи в навчальному процесі сприяє більш глибокому поданню та ширшому розумінню студентами перспективних напрямків розвитку сучасних інформаційних технологій та систем.

Даний акт не є підставою для проведення фінансових розрахунків.

Начальник навчального відділу

Ткаченко І.Г.

Завідувач кафедри
комп'ютерних наук

Боднарчук І.О.

Доцент кафедри
комп'ютерних наук

Мацюк О.В.



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи та соціального розвитку
Національного університету «Львівська політехніка»

д.т.н., доцент Корж Р.О.

27 вересня 2019р.

АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи Дуди Олексія Михайловича
«Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та
соціокомунікаційних мережах»
з навчальний процес кафедри інформаційних систем та мереж
Національного університету «Львівська політехніка»**

Даний акт засвідчує, що наукові та практичні результати дисертаційної роботи Дуди О.М. на тему «Інформаційні технології супроводу процесів в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах» представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук впроваджено в навчальний процес кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка». Матеріали дослідження використовуються під час викладання дисциплін «Розподілені бази даних та знань», «Технології керування якістю інформаційних систем» та «Багатокритеріальний аналіз систем та процесів різної природи».

Зокрема у навчальному процесі використовуються запропоновані О. М. Дудою:

- Архітектура інформаційно-технологічних платформ «розумного міста» розроблена на основі інформаційної технології супроводу процесів у міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах (навчальна дисципліна «Технології керування якістю інформаційних систем» для підготовки бакалаврів за спеціальністю 122 «Комп’ютерні науки»).
- Інформаційна технологія багатовимірного аналізу даних в міських ресурсних та соціокомунікаційних мережах – для отримання інформації з гіперкубів муніципальних даних (навчальна дисципліна «Розподілені бази даних та знань» для підготовки магістрів за спеціальністю 124 «Системний аналіз»).
- Метод опрацювання подій в міських ресурсних мережах, метод вибору категорії засобів аналітичного опрацювання «Великих даних» та метод вибору платформи аналітичного опрацювання міських колекцій даних (навчальна дисципліна «Багатокритеріальний аналіз систем та процесів різної природи» для підготовки PhD за спеціальністю 124 «Системний аналіз»).

Даний акт не є підставою для проведення фінансових розрахунків.

Завідувач кафедри
інформаційних систем та мереж
д. т. н., професор

Литвин В.В.

Заступник завідувача кафедри
інформаційних систем та мереж
д. н. с. к., професор

Кунанець Н.Е.