

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на
правах рукопису

ГОНЧАРЕНКО ТЕТЯНА АНДРІЇВНА

УДК 004.045:004.94

ДИСЕРТАЦІЯ
**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ В ПРОЕКТАХ БУДІВНИЦТВА**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Галузь знань 12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

_____ Т.А.Гончаренко

Науковий консультант – д.т.н., професор Чернишев Денис Олегович

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Гончаренко Т.А. Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» (галузь знань 12 – інформаційні технології). – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2024.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну теоретико-методологічну та науково-прикладну проблему формування єдиного інформаційного середовища й аналітико-цифрового простору для інформаційного забезпечення процесів просторового планування в проєктах будівництва та розвитку територій на ґрунті міждисциплінарного підходу, BIM– та GIS–технологій.

Вперше з позицій інтегрованого врахування сучасних вимог цифровізації, територіального планування, геоінформаційного контролінгу та будівельного девелопменту розроблено методологію та інформаційну технологію формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем з метою подальшого цифрового адміністрування циклом проєкту забудови та ревіталізації. Суттєво модернізовано аналітичний інструментарій цифрового управління процесами територіального планування, в якому синергійно поєднано переваги сучасних концепцій SMART-управління, SADT-проєктування, структурного та цифрового реінжинірингу з продуктивними можливостями BIM-технологій. Забезпечено адаптацію інформаційних технологій в процесі регулювання характеристик ОПП відповідно до директивних вимог і запитів провідних учасників проєктів забудови та ревіталізації. Методологічні компоненти забезпечують цілісність прийняття рішень на різних організаційних рівнях щодо розвитку ОПП як

об'єктів генерального планування та водночас як об'єктів міського простору, що долає наявні науково-методологічні протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу – замовнику, інвестору, девелоперу та генеральному проєктувальнику. Результати дослідження в сукупності формують формалізоване інформаційне середовище узгодження геоінформаційних, топографічних та інших параметрів зі стратегічними пріоритетами містобудування та територіального розвитку. Актуальним потребам просторового планування відповідає необхідність застосування сучасних інформаційних технологій для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів, що сприятиме розробці інформаційної системи «Розумне місто». Український національний ринок цифрових двійників в будівельній галузі на даний час тільки формується, тому це дослідження має особливу актуальність, враховуючі нагальні потреби у відбудові країни.

Практична цінність дослідження визначається розробкою спеціалізованих програмних засобів для автоматизації функціональних задач просторового планування і підготовки проєктів планувальних рішень із застосуванням інтегрованої платформи обробки просторової, атрибутивної та топологічної інформації на основі ВІМ-орієнтованого програмного комплексу.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання; об'єкт просторового планування (ОПП); єдине інформаційне середовище інтеграції інформації; метод верифікації інформаційних моделей; цифрова інформаційна модель ОПП; життєвий цикл будівельного проєкту; інформаційне моделювання будівельних об'єктів; інформаційне моделювання міського середовища, інтеграція ВІМ та GIS технологій; СІМ-методологія; цифровий двійник міського об'єкта.

ABSTRACT

Honcharenko T.A. Methodological foundations of the formation of a unified information environment for the automation of object-spatial systems in construction projects. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Doctor degree in Technical Sciences in the specialty 05.13.06 "Information technologies" (12 – Information technologies). – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The thesis solves the actual theoretical-methodological and scientific-applied problem of forming a single information environment and analytical-digital space for information support of spatial planning processes in construction projects and development of territories on the basis of an interdisciplinary approach, BIM and GIS technologies.

For the first time, a methodology and information technology for creating a unified information environment for automating object-spatial systems has been developed from the positions of integrated consideration of contemporary requirements of digitalization, territorial planning, geoinformation controlling, and construction development, aimed at further digital administration of the project cycle for development and revitalization. The analytical toolkit for digital management of territorial planning processes has been significantly modernized, synergistically combining the advantages of modern SMART management and SADT design concepts, structural and digital reengineering with the productive capabilities of BIM technologies. The adaptation of information technologies in the processes of regulating the characteristics of object-spatial systems according to directive requirements and requests from leading participants in development and revitalization projects has been ensured. Methodological components provide integrity in decision-making at various organizational levels concerning the development of object-spatial

systems as objects of general planning and simultaneously as urban space objects, overcoming existing scientific-methodological contradictions related to the need to consider the conflicting interests of various stakeholders in the construction-investment process. The research results collectively form a formalized information environment for coordinating geoinformational, topographical, and other parameters with strategic priorities of urban development and territorial growth.

An innovative interdisciplinary approach in the formation of the “basic architecture and analytical-digital basis of a single information space” for spatial planning objects in construction projects is substantiated. The basic architecture of the formation of a single information space for the object-spatial systems studied in the work is based on a functional-digital collection of sets of data (“digital cases”). A separate type of data set displays a visualized 12-stage structuring of the “digitally-adapted” development management cycle of the project tied to the integrated time coordinate of the project cycle (the first stage - the final stages – “renovation” and “decommissioning”). The architecture of the information system of executive authorities is proposed to ensure the integration and joint use of basic and thematic spatial data obtained from various information sources for decision-making regarding the spatial planning of the territory of the construction project. The specified IS architecture is structured into subsystems: "data collection", "3D models", "compatibility and verification", "spatial analysis", "adjustments and new proposals", "monitoring and management", "implementation". The integration of BIM and GIS technologies allows a thorough transition to a new approach to spatial planning of the urban environment. To solve the problem of developing a unified standard of the CIM methodology, this can use both GIS and BIM standards for its information content. The practical value lies in the integration of BIM data structures and GIS technologies to develop a unified CIM standard, which should become the basis of an integrated information platform of common data for modeling the urban environment.

The author's model of the “digital twin of the construction project” is implemented in the practice of digital administration of construction and revitalization projects. Work-based information technology and a complex of applied programs gradually and formally automate the functional process of general planning of the territory for development as a component of the development management cycle. The applied capabilities of the created methodology and information-analytical complex should expand the capabilities of BIM technologies in such a way as to ensure a tight digital connection between the spatial characteristics of the spatial planning object and the digital indicators of the object as a component of the project in the approved geoinformational, architectural-constructive and project-estimating documentation. This will provide project management at the state, regional and local levels with the ability to successfully manage cycle changes in the process of initiation, territorial planning.

The practical value of the research is defined by the development of specialized software tools for automating functional tasks of general planning and preparing planning decision projects using an integrated platform for processing spatial, attribute, and topological information based on a BIM-oriented software complex.

Keywords: computer modelling; objects of spatial planning (OSP), unified information environment integration of spatial information; digital information model of object-spatial systems; construction project life cycle; information modeling of construction objects; information modeling of the urban environment, integration of BIM and GIS technologies; CIM methodology; digital twins of city objects.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
Статті у періодичних виданнях, індексованих у наукометричних базах
Scopus та Web of Science

1. **Honcharenko T.**, Akselrod R., Shpakov A., Khomenko O. Information system based on multi-value classification of fully connected neural network for construction management. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2023. № 12(2). P.593–601. (**Scopus, Q2**, ISSN: 2089-4872).

Автору належить розробка інформаційної системи циклу менеджменту будівельного проєкту.

2. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Chupryna I., Shpakova H. Integration of Data Flows of the Construction Project Life Cycle to Create a Digital Enterprise Based on Building Information Modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol.1. P. 40–50. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2250-2459).

Автору належить застосування методу визначення рівнів деталізації об'єктів просторового планування у складі BIM- адаптованої інформаційної моделі в проєктах ревіталізації міської території.

3. Ryzhakova G., Malykhina O., Pokolenko V., Rubtsova O., Homenko O., Nesterenko I., **Honcharenko T.** Construction Project Management with Digital Twin Information System. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol. 12(10). P. 19-28. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2250-2459).

Автору належить розробка інформаційної системи цифрового двійника будівельного об'єкта.

4. **Honcharenko T.**, Ryzhakova G., Borodavka Ye., Ryzhakov D., Savenko V., Polosenko O. Method for representing spatial information of topological relations based on a multidimensional data model. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021. Vol.16(7). P. 802–809. (**Scopus, Q3**, ISSN: 1819-6608).

Автору належить розробка методу обробки топологічної інформації на основі багатовимірної моделі представлення даних.

5. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Liazschenko T. Integrated processing of spatial information based on multidimensional data models for general planning tasks. *International Journal of Computing*. 2021.Vol.20(1). P.55–62 (**Scopus, Q3**, ISSN: 1819-6608).

Автору належить розробка методу генералізації для геообробки інформації в моделях об'єктів просторового планування.

6. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Malykhina O., Druzhynina I., Gorbatyuk I. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2021. Vol. 11(5). P.1306–1312. (**Scopus, Q3**, ISSN: 2088-5334).

Автору належать прикладні інструменти інформаційного моделювання міського середовища на основі BIM– та GIS– технологій.

7. Riabchun Y., **Honcharenko T.**, Honta V., Chupryna K., Fedusenko O. Methods and means of evaluation and development for prospective students' spatial awareness. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 8(11). P.4050–4058. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2278-3075).

Автору належать обґрунтовані з позицій наукового та освітнього процесів напрями оновлення ІТ та інструментальних засобів просторового планування в проєктах будівництва.

8. Terentyev O., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. Multidimensional Space Structure for Adaptable Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol.8(3). P.7753–7758. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2277–3878)

Автору належить розробка багатовимірної моделі об'єкта просторового планування та опис основних класів об'єктів містобудування.

9. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Andrashko Yu., Budnik S. Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019. Vol.8(6). P.3934–3940. (**Scopus, Q4, ISSN: 2249-8958**).

Автору належить розробка компонентів аналітичного базису інтегрованого опису просторової інформації на основі багатовимірних інформаційних об'єктів.

10. Kuchansky A., Andrashko Yu., Biloshchytskyi A., Danchenko O., Parionov O., Vatskel I., **Honcharenko T.** The method for evaluation of educational environment subjects' performance based on the calculation of volumes of m-simplexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/4 (92). P. 15–25. (**Scopus та Web of Science, Q3, ISSN: 1729-3774**).

Автору належить визначення напрямів налаштування інформаційних технологій на сучасні завдання формалізованого моделювання територіального простору.

Статті в наукових фахових виданнях України категорії Б, що входять до наукометричних баз даних Index Copernicus та інших

11. **Гончаренко Т. А.** Архітектура програмної системи на основі концепції рефлексивної адаптації. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 54. С. 69–76.

12. Савенко В. І., Демидова О. О., Шатрова І. А., **Гончаренко Т. А.**, Лященко Т. О. Еволюція розвитку організації і кадрового менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 53. С. 91–99.

Автору належить розробка підходів оновлення взаємодії формальної та неформальної структури організації з позицій модернізації підходів до цифрового управління проектами забудови та ревіталізації.

13. **Гончаренко Т. А.** Метод визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання.* 2022. № 1–2 (7–8). С. 30–43.

14. **Гончаренко Т. А.** Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем.* 2022. № 51. С. 87–93.

15. Савенко В. І., **Гончаренко Т. А.**, Нестеренко І. С., Шатрова І. А., Демидова О. О. Якість управління, його вимірювання і поліпшення. *Управління розвитком складних систем.* 2022. № 50. С. 52–59.

Автору належить модель цифрового моделювання вияву дії факторів внутрішнього та зовнішнього середовища будівельної організації.

16. **Гончаренко Т. А.** BIM-технології як інструментарій для створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва. *Управління розвитком складних систем.* 2021. № 47. С. 83–88.

17. **Гончаренко Т. А.**, Михайленко В. М., Доля О. В. Інваріантність інформаційного моделювання прибудинкової території протягом життєвого циклу. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Інформатика та моделювання.* 2021. № 1(5). С. 6–15.

Автору належить параметризація трансформації уніфікованої моделі управління об'єкта нерухомості разом із прибудинковою територією.

18. **Гончаренко Т. А.**, Михайленко В.М. Інструменти інформаційного забезпечення визначення прихованого потенціалу розвитку міських територій для реалізації проєктів генерального планування комплексної житлової забудови. *Управління розвитком складних систем.* 2020. № 44. С. 70–77.

Автору належить аналітична модель формування синтетичного інтегрального індикатора рівня якості житлової міської території на основі

зведених інтегральних індикаторів оцінки комфортності житлової міської забудови.

19. **Гончаренко Т. А.** Структура методології СІМ для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції ВІМ та GIS технологій. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2020. № 2 (4). С. 42–53.

20. **Гончаренко Т. А.** Інтеграційна модель життєвого циклу території будівлі на основі ВІМ. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 43. С. 83–90.

21. **Гончаренко Т. А.** Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 42. С. 93–101.

22. **Гончаренко Т. А.,** Михайленко В.М. Метод багатоаспектної класифікації для верифікації багатовимірних інформаційних моделей об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 41. С. 61–67.

Автору належить розробка методу верифікації інформаційних моделей об'єктів просторового планування в складі інструментального базису автоматизації функціональних завдань об'єктно-просторових систем.

23. **Гончаренко Т. А.** Об'єктно-орієнтоване моделювання просторових об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 38. С. 64–70.

24. **Гончаренко Т. А.** Верифікація інформаційних моделей об'єктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 39. С. 65–70.

25. **Гончаренко Т.А.,** Михайленко В.М. Застосування методів багатовимірної аналізу даних для моделювання території під забудову. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2019. № 28 (1353). С. 5–15.

Автору належить порядок формування, зберігання та використання метаданих для ОПП у проєктах забудови і територіального відновлення.

Статті в закордонних виданнях

26. Kyivska K., Borodavka Y., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.** Information technology of automation of life cycle of construction objects. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. 2021. Vol.12. No.13. P. 152–158.

Автору належить розроблення структурних компонент середовища загальних даних для об'єктно-просторових систем комплексної інформаційної підтримки протягом життєвого циклу.

27. **Honcharenko T.**, Chupryna Y., Ivakhnenko I., Zinchenco M., Tsyfra T. Reengineering of the Construction Companies Based on BIM-technology. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(8). P. 4166–4172.

Автору належить застосування інтеграції BIM– та GIS–технологій для цифрового адміністрування проєктами реінжинірингу підприємств.

28. Kulikov P., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Ryzhakov D., Malykhina O. OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol. 9(5). P. 8670–8676.

Автору належить розробка моделі об'єктно-просторової системи.

29. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Information Simulation of Life Cycle of Building Territory at Master Planning Based on BIM–model. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(10). P. 7337–7343.

Автору належить застосування методу визначення рівнів деталізації об'єктів просторового планування у складі інформаційної моделі проєктів забудови та ревіталізації.

30. **Honcharenko T.**, Borodavka Y., Dolya E., Fedusenko O., Domanetska I. Comprehensive Information Support of Urban Planning on BIM–based Design. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. 9(5). P. 9197–9203.

Автору належить розробка цифрових інструментів обробки інформації про топологічні зв'язки між класами об'єктів просторового планування на базі BIM– технології.

31. Ryzhakova G., Chernyshev D., Druzhynin M., Petrenko H., Savchuk T., **Honcharenko T.** Methodological Regulation of Business Processes Reengineering in the Modern Construction Development System. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020. Vol. 8(5). P. 5046–5052.

Автору належать інновації в інтегрованому застосуванні BIM- та GIS- технологій для проєктів та процедур реінжинірингу бізнес-процесів у циклі адміністрування будівельними підприємствами.

32. **Honcharenko T.**, Andrashko Yu., Fedusenko O., Domanetska I., Olkhova N. The Method of Generalizing Spatial Information into a Single Multidimensional Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4), P. 8426–8432.

Автору належить удосконалення методу генералізації для геообробки інформації в моделях ОПП для проєктів ревіталізації.

33. Ryzhakova G., Ryzhakov D., Petrukha S., Ishchenko T., **Honcharenko T.** The Innovative Technology for Modeling Management Business Process of the Enterprise. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4). P. 4024–4033.

Автору належить застосування інновацій щодо формалізованого інтегрованого опису просторової інформації для управління процесами зростання продуктивності управління підприємством.

34. Савенко В. І., Гончаренко Т.А., Нестеренко І., Шатрова І., Пальчик С. Вдосконалення методів розрахунків сітьових графіків в будівництві на основі теорії графів та інформаційних технологій, THEORETICAL AND SCIENTIFIC FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 2022. 543 p. DOI:10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1.

Автору належить BIM-адаптація сітьових моделей до девелоперських моделей управління проєктами будівництва.

Матеріали міжнародних наукових конференцій, індексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science

35. **Honcharenko T.**, Solovei O. Optimal bin number for histogram binning method to calibrate binary probabilities. *CEUR Workshop Proceedings*, 2023. 3st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Vol.3628. P.126–135. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

Автору належить застосування прикладного пакету цифрового двійника для раціоналізації характеристик будівельного майданчика.

36. Chernyshev D., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Petrenko A., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. *Lecture Notes in Networks and Systems*.2023. Vol.495. P.1316–1331 (**Scopus Q4**, ISSN: 2367-3370).

Автору належить модель адміністрування цифрової проєктної компанії для управління життєвим циклом проєкту будівництва та ревіталізації територій.

37. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Terentyev O., Predun K., and Rosynskyi A., Information system of multi-stage analysis of the building of object models on a construction site, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol.1254 (1). № 012075. (**Scopus**, ISSN: 1755-1307).

Автору належить дослідження можливостей застосування BIM-технологій та мультидисциплінарного підходу для багатостадійного девелоперського управління.

38. Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Predun K., Petrukha N., Malykhina O., Khomenko O., Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System, 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). 2023. P. 208–213 (**Scopus**).

Автору належить визначення переваг застосування сервіс-орієнтованої моделі для формалізованого адміністрування проектами будівництва та ревіталізації.

39. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Savenko V., Balina O., Bezklubenko I., Liashchenko T., Construction Site Modeling Objects Using Artificial Intelligence and BIM Technology: A Multi-Stage Approach, 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). 2023. P. 174–179. (**Scopus**).

Автору належить розробка п'яти операційних етапів у цифровій моделі інформаційного забезпечення просторового планування будівельного об'єкта.

40. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Sapaiev V., Delembovskyi M. Digital Object Detection of Construction Site Based on Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems. *CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*. 2022. Vol. 3039. P. 267–279. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

Автору належить розробка 12-стадійної цифрової структуризації «диджитал-адаптованого» циклу девелоперського управління проектом.

41. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Hama H., Ivanova T.; Zinchenko M. Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems to Create a Digital Twin of the Construction Site. 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2022. P. 36–39. (**Scopus** та **Web of Science**, ISBN 979-835033504-0).

Автору належить мультифункціональний опис трансформацій цифрової моделі територіального об'єкта як складової проєкту від первинного задуму до остаточного стану.

42. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Dolhopolova S., Riabchun O., Delembovskyi M. Use of Artificial Intelligence Systems for Determining the Career Guidance of Future University Student. *2022 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies, 2022. (Scopus, ISBN 978-166546790-2)*

Автору належить оновлення параметричної бази пристосування типологічних конструктивів в окремий об'єкт генплану з використанням BIM–та GIS–технологій.

43. **Honcharenko T.**, Shpakova H., Predun K., Zinchenco M., Liashchenko M., Savenko V. Smart Information System for Creating Digital Twins of Construction Project. *2022 IEEE 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies. 2022. (Scopus, ISBN: 978-166546790-2).*

Автору належить операційна технологія формування та застосування цифрових двійників будівельного проєкту.

44. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Gorbatyuk I. Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. *Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, 344, p.3-15, (Scopus Q4, ISSN:2367-3370).*

Автору належить розробка моделі аналітичного опрацювання складових об'єктно-просторової системи.

45. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Serpinska O., Savenko V., Kysliuk D., Orlyk Y. Digital transformation of the construction design based on the Building Information Modeling and Internet of Things. *1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021 CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 3039. P. 267–279. (Scopus, ISSN: 1613-0073).*

Автору належить розробка моделі інформаційної системи для розробки цифрового двійника міського об'єкта.

46. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Liashchenko M., Terentyev O., Gorbatyuk I., Dolya E. Mathematical Modeling of Online Transaction Processing System for Design of Building Territory. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021 - Proceedings*. 2021. P. 552–556 (**Scopus** та **Web of Science**, ISBN: 978-166540094-7).

Автору належить визначення рівнів деталізації цифрових моделей в адаптації до завдань динамічного коригування стану ОПП в циклі девелоперського управління.

47. **Honcharenko T.**, Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Transform approach for formation of construction project management teams based on building information modeling. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 11–21. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

Автору належить налаштування системотехнічних засобів цифрового моделювання до формування команд та проєктних груп в структурі адміністрування проєктом.

48. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Borodavka Y., Dolya E., Savenko V. Information tools for project management of the building territory at the stage of urban planning. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 22–33. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

Автору належить прикладна адаптація використання BIM-технологій для вдосконалення геоінформаційної підготовки в циклі девелоперського управління проєктів забудови та ревіталізації територій.

49. Kuchansky A., Biloshchytskyi A., Andrashko Yu., Biloshchytska S., **Honcharenko T.**, Nikolenko V. Fractal time series analysis in non-stationary environment, *2019 IEEE Inter. Scient.-Pract. Conf. Problems of Infocommunications*.

Science and Technology (PIC S&T). Kyiv. 2019. P. 236–240. (Scopus та Web of Science, ISBN 978-172814184-8).

Автору належить застосування підсумків аналізу часового ряду для вияву стратегій просування проєкту з використанням «цифрових двійників».

Тези доповідей наукових та науково-практичних конференцій

50. Павліха Р., Гончаренко Т. А. Next.js проти React.js: Порівняння двох популярних фронтенд-фреймворків, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2023"*. 2023. P. 389–390.

Автору належить розробка ІС органів виконавчої влади на основі сервіс-орієнтованої архітектури.

51. Сапаєв В. І., Чернишев Д. О., Гончаренко Т. А. Цифровізація міського середовища на основі інтеграції сучасних інформаційних технологій. *International Scientific-Practical Conference of young science "Build-Master-Class-2022"*. 2022. P. 332–333.

Автору належить характеристика прикладних інструментальних засобів для цифровізації міського простору на основі інтеграції ІТ.

52. Любушкіна А., Гончаренко Т. Розробка та організація баз даних для будівельних компаній. *International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2022»*. С. 349–350.

Автору належить розробка структури середовища загальних даних комплексної інформаційної підтримки будівельного проєкту.

53. Гончаренко Т. А., Шутовський О. М. Застосування технології Big Data для створення розумного цифрового міста, *XXII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2022)»*, 9-14.11 2022, м. Харків. С. 26–27.

Автору належить цифрове коригування просторово-геометричних характеристик об'єктів територіального планування в проєктах розвитку міського середовища.

54. Liashchenko M., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. BIM development for the healthcare centers. *Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком технологій»*. 2022. С.42–43.

Автору належить BIM-вдосконалення процесів управління девелоперськими проєктами з виокремленням суб'єктів формування інформаційних ресурсів та рівнів адміністрування проєкту.

55. **Honcharenko T.**, Savchenko K. Information technologies in the educational process based on integration Google classroom with Moodle. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.71–72.

Автору належить врахування потреб цифрового оновлення адміністрування процесами територіального планування в сучасній організації освітнього процесу.

56. **Honcharenko T.**, Kovalskyi D. Analysis of possibilities of using cloud technologies in education. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.73–74.

Автору належить формат та інструменти застосування хмарних технологій для управління проєктами територіального оновлення.

57. Savenko V., **Honcharenko T.**, Nesterenko I., Klyuyeva V. Organizational genetics and synergetic approach to the effective development of production systems. *VII International Scientific and Practical Conference London, United Kingdom, 10-12 February 2021*. P. 180–190.

Автору належить спрямування цифрових технологій на вияв синергії в цифровому адмініструванні процесами територіального планування.

58. **Гончаренко Т. А.**, Грішин М. В., Осадчий В.С. Кібербезпека за допомогою систем штучного інтелекту. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.47–48.

Автору належить застосування штучного інтелекту для мультифункціонального оцінювання варіантів ОПП.

59. **Гончаренко Т. А.**, Рачек Д. Р., Ладигін Д. Ф. Інформаційне суспільство, шлях у майбутнє. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.53–54.

Автору належить використання цифрового двійника проєкту як компоненти просування до інформаційного суспільства.

60. **Гончаренко Т. А.**, Дем'янов Н. В., Власюк В. В. Моніторинг мов програмування для розробки сучасних програмних продуктів. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.33–34.

Автору належить аналіз та вибір мови програмування для вирішення завдання формування єдиного інформаційного простору для об'єктів територіального планування.

61. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Liashchenko M. Application of software technologies at the stage of urban planning design. *XVIII міжнародна конф. ПИМ-2021*, Харків-Одеса. 2021. С. 54–56.

Автору належить використання цифрових описів локального урбанізованого об'єкта територіального планування для потреб трансформацій міського середовища.

62. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V. The basic structure of the BIM platform for digitalization of the smart construction. *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young science «Build-Master-Class-2021»*. 2021. P. 332–333.

Автору належить розробка прикладних компонентів цифрової візуалізації етапів та робіт будівельного проєкту, що впроваджується на ґрунті SMART-концепції

63. **Нончаренко Т.**, Mihaylenko V. Verification of BIM-models for lifecycle of construction site. *Abstracts of the 8th International scientific and practical conference «Scientific achievements of modern society»*, Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. P. 36–41.

Автору належить розробка удосконалень щодо використання методу верифікації інформаційних моделей ОПІ протягом життєвого циклу.

64. **Гончаренко Т.**, Клевцов М., Гриневич Д. Інформаційне середовище загальних даних ВІМ-моделювання для вирішення задач генерального планування, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 332–333.

Автору належить формування середовища загальних даних для адміністрування характеристиками об'єктно-просторових систем в проєктах територіального планування.

65. Ковтун К., Клічес В., **Гончаренко Т.** Впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у навчально-виховний процес, *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 334–335.

Автору належить розробка структури адміністрування будівельного проєкту в термінах агрегування сутностей.

66. Лященко М., **Гончаренко Т.**, Лященко Т. Автоматизація проєктування і візуалізація ВІМ-моделей інженерних мереж в Autodesk Revit, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 336–337.

Автору належить налаштування BIM-локалізованих характеристик ОПП до вимог достовірної та різноаспектної індикації множинних директивних вимог.

67. Яворський М., Тугай М., **Гончаренко Т.** Сучасні програми для створення користувацьких інтерфейсів, *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. Р. 340–341.

Автору належить інформаційні технології аналітичного супроводу формування циклу проєкту територіального планування.

68. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko M. Application of distributed software technologies at the stage of urban planning design. *I науково-практичної конференції «Розподілені програмні системи і технології»*, КНУБА. 2020. С. 26.

Автору належить визначення змісту компонентів CIM методології для інформаційного моделювання міського середовища.

69. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko T. Integration of BIM and CALS technologies for information modeling in construction. *XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Prospects for the development of modern science and practice»*. 2020. Р. 48–51.

Автору належить визначення результатів цифрового моделювання міських об'єктів на основі інтеграції інформаційних технологій.

70. Михайленко В., **Гончаренко Т.**, Лященко Т., Лященко М. Впровадження програмних комплексів на основі технології інформаційного моделювання (BIM-технології). *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scientists «Build-Master-Class-2019»*. 2019. Р. 450–451.

Автору належить BIM-адаптована обробка просторової інформації на основі багатовимірних моделей даних.

71. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Lyashchenko M. Information technologies for 3D modeling for construction and architecture. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2019. Р. 80–82.

Автору належить розробка моделі BIM-команди управління проектами територіальної ревіталізації.

72. **Гончаренко Т.А.** Інформаційна технологія створення інтегрованої цифрової моделі території під забудову, *XXVII Міжнародна Науково-практична Конференція «Microcad-2019»*. Харків. 2019. С. 137–138.

73. **Honcharenko T.** Information modeling and software for Implementation BIM-technology in the construction industry, *Materials of the XV International scientific and practical Conference Modern european science-2019*, SHEFFIELD, UK.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	27
ВСТУП.....	28
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПЕРЕДУМОВИ ОНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ В ПРОЄКТАХ БУДІВНИЦТВА	43
1.1. Огляд існуючих онтологічних і теоретико-методичних підходів до інформаційного моделювання територіально-планувального простору	43
1.2. Систематизація і аналіз компонентів інформаційних технологій і систем, які відповідають потребам формалізованого моделювання територіального простору та сучасним директивним вимогам	71
1.3. Опрацювання новітніх потреб інформаційних технологій і інструментальних засобів просторового планування у проєктах будівництва і ревіталізації територій.....	75
1.4. Виявлення актуальних проблем в задачах, пов'язаних з цифровізацією проєктів будівництва і ревіталізацією територій.....	91
1.5. Наукова гіпотеза і постановка проблеми дослідження.....	104
Висновки до розділу 1	110
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ КОМПОНЕНТИ ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТНО- ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ.....	112
2.1. Налаштування онтологічних і методологічних дефініцій відповідно до формату та змісту дослідження.....	112
2.2. Узагальнена модель об'єкту просторового планування і опис основних класів об'єктів містобудування.....	117
2.3. Формалізація інформаційного забезпечення об'єктно-просторових систем на основі структурно-функціональної моделі процесу просторового планування	138
2.4. Концептуальна модель і базова архітектура єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем	150

Висновки до розділу 2	164
РОЗДІЛ 3. АНАЛІТИЧНИЙ БАЗИС ІНТЕГРОВАНОГО ОПИСУ ТА ОБРОБКИ ПРОСТОРОВОЇ, АТРИБУТИВНОЇ ТА ТОПОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	166
3.1. Формалізація інтегрованого опису просторової та атрибутивної інформації на основі багатовимірних інформаційних об'єктів для створення моделей ОПП	166
3.2. Метод генералізації інформації в моделях об'єктів просторового планування	184
3.3. Метод обробки інформації про топологічні зв'язки між об'єктами просторового планування.....	197
3.4. Формалізація аналітичної обробки складових об'єктно-просторових систем	208
Висновки до розділу 3	215
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ	217
4.1. Формалізований опис операцій адаптованої автоматизованої інформаційної системи інтегрованої обробки даних	217
4.2. Метод верифікації інформаційних моделей об'єктів просторового планування	230
4.3. Метод багатоаспектної класифікації для валідації моделей об'єктів просторового планування.....	235
4.4. Метод визначення рівнів деталізації об'єктів просторового планування у складі інформаційної моделі міської території	245
Висновки до розділу 4	255
РОЗДІЛ 5. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ ...	257
5.1. Узагальнена архітектура програмного комплексу для автоматизації об'єктно-просторових систем на основі концепції рефлексивної адаптації ..	257

5.2. Структурні компоненти середовища загальних даних для об'єктно-просторових систем комплексної інформаційної підтримки	269
5.3. Архітектура сховищ даних для інтеграції об'єктно-просторових систем на основі OLAP технології	280
5.4. Інформаційна система органів виконавчої влади на основі сервіс-орієнтованої архітектури	290
Висновки до розділу 5	300
РОЗДІЛ 6. ПРИКЛАДНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСЬКОГО ПРОСТОРУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ.....	302
6.1. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища і розроблення цифрових двійників міських об'єктів	302
6.2. Компоненти СІМ методології для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції ВІМ та GIS технологій.....	316
6.3. Цифрова трансформація будівельного проєкту	325
6.4. Оцінка ефективності визначення потенціалу розвитку міських територій в проєктах генерального планування комплексної житлової забудови.....	337
Висновки до розділу 6	349
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	352
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	359
Додаток А. Перелік допустимих значень атрибутів для розробки класів ОПП	389
Додаток Б. Довідки і акти впровадження результатів дисертаційної роботи	394
Додаток В. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	411

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BIM – Building Information Modeling, інформаційне моделювання в будівництві

CIM – City Information Modelling, інформаційне моделювання міст

CDT –City Digital Twin, цифровий двійник міста

DT – Digital Twin, цифровой двійник

GIS – Geographic Information System, геоінформаційна система

LOD – Level Of Detail, рівень деталізації

OLAP – Online Analytical Processing , інтерактивна аналітична обробка

OLTP– Online Transaction Processing, онлайн нова обробка транзакцій

SPLE – Software Product Line Engineering, розробка лінійки програмних продуктів

UDT – Urban Digital Twins, цифрові двійники міських об'єктів

БД – база даних

БЮ – багатовимірний інформаційний об'єкт

БПО – багатовимірний просторовий об'єкт

ЄІС – єдине інформаційне середовище

ЖЦ – життєвий цикл

ІС – інформаційна система

ІТ – інформаційна технологія

ОВВ – органи виконавчої влади

ОПП – об'єкт просторового планування

ОПС – об'єктно-просторова система

ПЗ – програмне забезпечення

ПП – просторове планування

РБД – розподілена база даних

РЯЖМТ – рівень якості житлової міської території

СБПО – структурований багатовимірний просторовий об'єкт

ЦІМ – цифрова інформаційна модель

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасним етапом розвитку будівельної галузі є її цифровізація, що вимагає трансформації в процесах автоматизації будівельних проєктів на основі використання сучасних інформаційних технологій (ІТ) для розробки цифрових двійників міських об'єктів як компонентів системи «Розумне місто» (англ. *Smart City*). Інформаційне забезпечення навіть невеликого проєкту будівництва характеризується великим обсягом різномірної інформації з різних джерел отримання даних, які розподілені по окремих галузевих службах та інформаційних системах. Вивчення територіального простору проєкту будівництва виконується різними суб'єктами формування інформаційних ресурсів за своєю спрямованістю. У зв'язку з тим, що реальні об'єкти, які мають просторову прив'язку (території, будівлі, інженерні споруди, комунікації, елементи ландшафту, благоустрою тощо), вивчаються різними фахівцями, а інформація про них зберігається в різних джерелах даних і розподілена по окремих галузевих службах, дуже важливо, щоб уявлення різних учасників про їхні окремі елементи та характеристики становило цілісну картину про проєкт будівництва. При цьому необхідно прагнути до формування єдиного інформаційного середовища в галузі просторового планування, яке б створювало сукупність окремих компонентів, кожен з яких містить повну інформацію рівня суб'єкта будівельного проєкту. У той же час суб'єктові компоненти мають створюватися таким чином (організаційно, структурно, технологічно), щоб їхнє об'єднання в єдине інформаційне середовище надавало можливості здійснювати якісне управління будівельним проєктом.

На законодавчому рівні планування й управління територіями реалізується на різних організаційних рівнях: державному, регіональному та місцевому, тому інформаційне забезпечення має формуватися на основі територіально розподілених об'єктно-просторових систем з різним ступенем деталізації, генералізації та узагальнення інформації на кожному рівні.

Значний внесок в розвиток теоретичних та прикладних засад розробки інформаційних технологій моделювання будівельними об'єктами і проєктами здійснили наукові праці вчених: М. С. Барабаш, А. О. Білощицького, Є. В. Бородавки, С. Д. Бушуєва, О. В. Веренич, О. В. Горди, О. С. Городецького, П. Є. Григоровського, В. М. Міхайленка, О. О. Терентьєва, Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, Asser Elsheikh, Y. J. Wang., R. Li, Z. Yang, Z. Tan, S. Vilcekova. Проблемам дослідження містобудівних інформаційних систем та ГІС технологій присвячені праці: М. М. Дьоміна, В. І. Зацерковного, Ю. О. Карпінського, Р. О. Коржа, М. Г. Лихогруда, А. А. Лященко, Ю. П. Палєхи, О. С. Петраковської, О. І. Сингаївської, В. А. Смілки, А. М. Третьяка, П. П. Чередніченка, Д. О. Чернишева, M. Batty та W. Yang Xia Wei, Wojciech Bonenberg, Mo Zhou, Jinzhong Wang, Xiaolei Wang та інших.

Отже, на порядок денний виноситься нагальна науково-методологічна проблема: на поточний момент відсутня методологія, яка в межах суттєво вдосконаленого аналітичного базису й інформаційної технології уможливить в єдиному цифровому просторі прийняття рішень успішно здійснювати зміни, коригування та раціоналізацію характеристик об'єктів територіального планування, забудови і ревіталізації, починаючи з розгляду первинних даних проєкту. Виникає потреба запровадити методологію і супровідні до неї інформаційну технологію та комплекс прикладних програм, які мають надати інституційним учасникам проєкту: замовнику, інвестору, девелоперу та генеральному проєктувальнику можливості діджитал-адаптованого інструментарію для відслідковування змін протягом життєвого циклу проєкту будівництва. Прикладні можливості створеної методології та інформаційно-аналітичного комплексу мають розширити можливості наявної ВІМ-технології у такий спосіб, щоб забезпечити щільний цифровий зв'язок між просторовими характеристиками об'єктів територіального планування та їхніми цифровими

індикаторами як складовими проєкту в затвердженій геоінформаційній, архітектурно-конструктивній та проєктно-кошторисній документації. Це надасть керівному складу проєктів на державному, регіональному та місцевому рівнях спроможність успішного управління змінами в процесі розв'язання задач просторового планування. Є ще одна проблема, яка *відповідає актуальним потребам цифровізації процесів просторового планування*, зміст якої полягає в інтеграції сучасних інформаційних технологій для моделювання міського середовища через *створення цифрових двійників міських об'єктів*. Вирішення такої проблеми буде сприяти розвитку інформаційного забезпечення міського простору та розробці інформаційної системи «Розумне місто». Український ринок цифрових двійників в будівельній галузі на сьогодні тільки формується, тому це дослідження *має особливу актуальність*, враховуючи нагальні потреби у відбудові країни.

Отже, нагальність вирішення назрілих проблем дає підстави вважати, що обрана тема дослідження є *актуальною* і необхідною на сучасному етапі вирішення питань щодо інформаційного забезпечення розвитку, відновлення та ревіталізації територій, в тому числі внаслідок руйнування та пошкодження інфраструктурних об'єктів у різних регіонах України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Зміст результатів дисертаційної роботи, їх цільове налаштування відповідають спрямуванню та змісту завдань, які накреслені:

– Законом України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель» (№ 711- IX від 17 червня 2020 року);

– Постановами Кабінету Міністрів України: «Про затвердження Класифікації обмежень у використанні земель, що можуть встановлюватися комплексним планом просторового розвитку території територіальної громади, генеральним планом населеного пункту, детальним планом території» (№ 654

від 2 червня 2021 р.), «Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації» (№ 962 від 1 вересня 2021 р.) та «Про визначення формату електронних документів комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади, генерального плану населеного пункту, детального плану території» (№ 632 від 9 червня 2021 року);

– «Проектом Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року» (прийнятий Київміськрадою 30.11.2016 р.);

– Державними будівельними нормами України «ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» та «ДБН Б.1.1-21:2017 Склад та зміст схеми планування території, на якій реалізуються повноваження сільських, селищних, міських рад».

Науково-методологічні, аналітичні та прикладні результати пропонованого дослідження були використані в якості компонент науково-дослідних і науково-пошукових тем, зокрема: «Інтегрована обробка просторової інформації на основі багатовимірних моделей даних» (№ ДР 0120U103463), «Інформаційні технології комп'ютерного моделювання для вирішення задач генерального планування» (№ ДР 0120U104018),

«Інтеграція сучасних інформаційних технологій для створення цифрових двійників міських об'єктів» (№ ДР 0123U100879).

Об'єктом дослідження є процеси автоматизованої обробки просторової та атрибутивної інформації в адаптації до об'єктів територіального планування як спеціальних об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва.

Предметом дослідження є методологія, моделі, методи та інформаційна технологія розробки єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва.

Основна гіпотеза дослідження полягає у тому, що сукупне використання методологічних компонентів єдиного інформаційного середовища забезпечить

розширення можливостей BIM-технології для просторового планування і ревіталізації територій. Це дасть змогу при розробці проєктів планувальних рішень подолати протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу протягом життєвого циклу проєкту будівництва і підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень щодо вибору проєктів планувальних рішень органами виконавчої влади в міському цифровому просторі.

Метою дослідження є розв'язання теоретико-методологічної та науково-прикладної проблеми, пов'язаної із формуванням єдиного інформаційного середовища й аналітико-цифрового простору для інформаційного забезпечення і формалізованого коригування рішень інвестиційно-будівельних проєктів на етапі просторового планування і розвитку територій за рахунок розвитку інформаційних технологій і залучення міждисциплінарного підходу до процесів агрегування і генералізації територіально розподіленої просторової інформації від різних суб'єктів формування інформаційних ресурсів. Результати дослідження спрямовані створити інформаційну технологію для обробки просторової та атрибутивної інформації з різних державних реєстрів, галузевих кадастрових та інформаційних служб, забезпечуючи міждисциплінарне інтегрування даних з різних джерел, для формування повної інформації про об'єкти просторового планування та подання їх у цифровій картографічній формі для автоматизованої розробки проєктів планувальних рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Виконати аналіз передумов, компонентів інформаційного забезпечення та систем, які відповідають сучасним вимогам застосування інформаційних технологій обробки просторової інформації для автоматизації процесів просторового планування територій у проєктах будівництва.

2. Розробити структурно-функціональну модель процесу просторового планування і модель об'єктно-просторової системи (ОПС), які уможливають сформуванню концептуальну модель і архітектуру єдиного інформаційного середовища для міждисциплінарного аналізу об'єкта просторового планування (ОПП) та розробки проєктів планувальних рішень.

3. Розробити узагальнену інформаційну модель (ІМ) ОПП на основі агрегації базової і тематичної інформації з різних джерел даних та сформуванню основні класи ОПП з наборами атрибутів, склад яких визначається директивними загальнодержавними системами класифікації об'єктів у відповідних галузевих реєстрах і кадастрах.

4. Розробити багатовимірні моделі об'єктів просторового планування (ОПП) для формального опису й аналітичної обробки різних типів геометричної та атрибутивної інформації, які уможливають автоматизувати процес просторового планування і здійснити його на різних організаційних рівнях, кожен з яких вимагає власного рівня деталізації.

5. Розробити метод генералізації територіально розподіленої за місцем зберігання просторової та атрибутивної інформації від різних суб'єктів формування інформаційних ресурсів, який забезпечить спроможність інтегрувати різномірну інформацію на всіх організаційних рівнях управління, зберігаючи при цьому її цілісність.

6. Розробити метод обробки просторової інформації про топологічні зв'язки між ОПП на основі багатовимірної моделі представлення топологічної інформації і здійснити експериментальні дослідження, спрямовані на оцінку ефективності опрацювання користувацьких запитів.

7. Розробити методи верифікації моделей ОПП, які визначатимуть ключові параметри для комплексної перевірки на відповідність директивним вимогам і здійснюватимуть пошук помилок та колізій при передаванні

просторової та атрибутивної інформації з одного організаційного рівня прийняття рішень на інший протягом життєвого циклу (ЖЦ) ОПП.

8. Розробити метод визначення рівнів деталізації цифрових ІМ ОПП у складі тривимірної моделі міської території з урахуванням потреб різних суб'єктів управління для прийняття рішень щодо вирішення функціональних завдань ОПС в урбанізованому просторі.

9. Розробити інформаційну технологію, яка реалізує методологічні компоненти формування єдиного інформаційного середовища із застосуванням інтегрованої платформи обробки просторової та атрибутивної інформації на основі ВІМ-орієнтованого програмного комплексу.

10. Розробити сервіс-орієнтовану архітектуру інформаційної системи органів виконавчої влади для забезпечення інтеграції та спільного використання базових і тематичних просторових даних, отриманих з різних інформаційних джерел для узгодженості прийняття управлінських рішень.

11. Запропонувати прикладні інструментальні засоби для цифровізації міського простору і розроблення цифрових двійників міських об'єктів на основі інтеграції інформаційних технологій та систем.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі використано такі методи дослідження: онтологічні методи дослідження предметної області, методи теорії складних систем, методи системного аналізу, методи структурно-функціонального аналізу, методи онтологічного, логічного та теоретико-множинного моделювання, методи теорії інформації, методи імітаційного моделювання, об'єктно-орієнтованого проєктування, теорії алгоритмів, програмування та експериментального проєктування для розроблення алгоритмів та програмних засобів інформаційних технологій.

Зазначені методи дослідження були коректно застосовані, спираючись на *міждисциплінарний підхід та ВІМ-технологію як основу змістовно-процесуального ланцюжка* цифровізації, формалізованого обґрунтування,

локалізованого виокремлення та наступної агрегації рішень в проєктах просторового планування.

Наукова новизна отриманих результатів. Запроваджені в роботі методологічні компоненти, аналітичний базис та ІТ реалізують цільові налаштування на досягнення синергії у формуванні характеристик об'єктів територіального планування через використання міждисциплінарного підходу та досягнення спроможності здійснювати необхідні з позицій різних учасників (стейкхолдерів) будівельного проєкту корективи цифрових індикаторів об'єктів: спочатку як функціонально-розрізнених, а надалі як інтегрованих складових єдиного інвестиційного комплексу. На підставі одержаних у дисертації результатів *вперше розроблено:*

– *структурно-функціональну модель інформаційного забезпечення просторового планування будівельного проєкту, яка дала змогу виявити та формалізувати технологічні функції процесу територіального планування та сформувати концептуальну модель та архітектуру єдиного інформаційного середовища для міждисциплінарного аналізу ОПП та розроблення проєктів планувальних рішень. Базова архітектура спирається на 12-стадійну структуризацію життєвого циклу ОПП, рівні деталізації моделі, базові та тематичні набори даних, отримані від різних джерел формування інформаційних ресурсів, що дає змогу врахувати в процесі просторового планування множинні стратегічні пріоритети від різних суб'єктів споживання результатів проєкту та вирішувати завдання, пов'язані з просторовим плануванням території як окремої адміністративно-територіальної одиниці або у складі комплексного плану розвитку населеного пункту;*

– *концептуальну модель єдиного інформаційного середовища (ЄІС) територіального планування проєкту будівництва, яка забезпечує спільну роботу суб'єктів споживання інформації і допомагає уникати протиріч, помилок та колізій під час прийняття планувальних рішень, і визначає зміст та структуру*

методології формування єдиного інформаційного середовища об'єктно-просторових систем;

– *методологію формування єдиного інформаційного середовища*, яка за рахунок міждисциплінарного підходу й інтегрованого застосування розроблених моделей і методів, надає можливість розроблення інформаційної технології та інструментальних засобів для автоматизації об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва, забезпечує належну верифікацію просторово-геометричних, кадастрових та інших атрибутивних характеристик об'єктів територіального планування відповідно до директивних запитів провідних учасників проєкту, яка працює на ґрунті синергії можливостей BIM- та GIS-технологій;

– *інформаційну технологію*, яка реалізує методологію формування єдиного інформаційного середовища для вирішення завдань, пов'язаних з просторовим плануванням території як окремої адміністративно-територіальної одиниці або у складі комплексного плану розвитку населеного пункту, що дає змогу при розробленні проєктів просторового планування подолати протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу і підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень щодо вибору проєкту планувальних рішень органами виконавчої влади;

– *узагальнену інформаційну модель (ІМ) об'єкта просторового планування (ОПП)*, яка за рахунок агрегації базової та тематичної інформації з різних джерел даних уможливорює визначити основні класи ОПП з наборами атрибутів, зміст яких відповідає директивним загальнодержавним системам класифікації об'єктів у відповідних галузевих реєстрах та кадастрах та може слугувати базисом для розроблення цифрових двійників міських об'єктів в ЄІС.

Удосконалено:

- *модель формалізованого опису багатовимірного простору ОПС, яка спирається на п'ятикомпонентну структуру і складається з множини просторових предметів, набору сутностей тематичної галузі, множини ідентифікаторів записів сутностей, набору часових діапазонів зміни станів ОПП та множини модифікаторів доступу користувачів, що, на відміну від існуючих моделей, надає спроможність здійснювати адміністрування змінами у ЖЦ проекту забудови (ревіталізації);*
- *модель аналітичної обробки складових об'єктно-просторової системи, яка, на відміну від існуючих аналогів, дає змогу з агрегованих позицій представити інформаційну систему автоматизації у вигляді багаторівневого середовища, що складається з множини елементів, функцій і методів, що працюють на цих елементах, множини властивостей елементів і зв'язків між ними, що забезпечує високий рівень автономності компонентів ОПС;*
- *метод генералізації інформації в моделях об'єктів просторового планування, який, за рахунок редагування окремих елементів моделей ОПП як складових ОПС в ЄІС, на відміну від існуючих методів, забезпечує спроможність інтегрувати різномірну просторову й атрибутивну інформацію на всіх організаційних рівнях управління, зберігаючи при цьому її цілісність;*
- *метод верифікації якості цифрових ІМ ОПП, який, за рахунок оновлення системи параметрів та послідовності етапів застосування, на відміну від існуючих методів, забезпечує формування функціонально-технологічного набору правил перевірки та здійснює деталізовану, послідовну валідацію характеристик цифрових ІМ ОПП на етапах ЖЦ на відповідність директивним вимогам;*
- *метод обробки інформації про топологічні зв'язки між ОПП, який, на відміну від існуючих методів, використовує багатовимірну модель для представлення топологічної інформації, яку реалізовано у вигляді багатозарового цифрового куба, кожен із шарів якого відповідає певному*

топологічному правилу і представляє собою двовимірну матрицю, що уможливить використовувати OLAP-технологію для автоматизації складних топологічних зв'язків між ОПП в ОПС.

Отримали подальший розвиток:

– *моделі аналітичного опису й обробки просторової та атрибутивної інформації*, які на основі мультиплікативного підходу до опису великих обсягів інформації, на відміну від існуючих моделей, використовують багатовимірні інформаційні об'єкти (БІО), що забезпечує єдиний теоретичний базис розроблення багатовимірних моделей ОПП різних типів, різної розмірності та рівнів деталізації і тематичних шарів;

– *метод багатоаспектної класифікації для валідації ЦІМ ОПП*, який, на відміну від існуючих методів, виявляє колізії та відхилення від встановлених параметрів моделі протягом ЖЦ проєкту будівництва. Перевагою такого методу є його гнучкість, яка обумовлена тим, що зміни в одному з фасетів не чинять істотного впливу на інші фасети, що дозволяє розширити структуру класифікації додаванням нових фасетів для валідації;

– *метод визначення рівнів деталізації цифрових інформаційних моделей ОПП у складі цифрової моделі міста*, який враховує індивідуальні потреби різних суб'єктів для візуалізації проєктних рішень за рахунок застосування підходу різнорівневої деталізації до різних об'єктів міської території;

– *понятійний апарат* у галузі просторового планування, зокрема введено дефініції «просторовий предмет» та «об'єкт просторового планування», в галузі інформаційних технологій - «цифрова інформаційна модель», «єдине інформаційне середовище» та «інформаційне моделювання об'єктів просторового планування», що уможливило використати технологію інформаційного моделювання в будівництві до моделювання об'єктів генерального планування й об'єктів міського простору.

Теоретична цінність роботи визначається тим, що результати дослідження на ґрунті мультидисциплінарного підходу й інтегрованого застосування інформаційних технологій як різнорідних компонент формалізованого опису ОПП визначають суттєвий внесок в розвиток теоретико-методологічного базису інформаційних технологій як наукової галузі. Забезпечено адаптацію інформаційних технологій в процесі регулювання характеристик ОПП відповідно до директивних вимог і запитів провідних учасників проєктів забудови та ревіталізації. Провідним результатом дослідження є методологія формування і використання єдиного інформаційного середовища для ОПС, що забезпечує цілісність прийняття рішень на різних організаційних рівнях щодо розвитку ОПП як об'єктів генерального планування та водночас як об'єктів міського простору. Запроваджений підхід долає наявні до цього науково-методологічні протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу.

Практична цінність роботи визначається:

- *розробкою спеціалізованих програмних засобів* для автоматизації функціональних процесів генерального планування і підготовки проєктів планувальних рішень на основі BIM-орієнтованого програмного комплексу;
- *розробкою структур моделей даних CIM-методології* для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції BIM та GIS технологій, які забезпечують можливість застосування ІТ для прогнозування впливу результатів планувальних рішень проєктів просторового планування на існуючі компоненти міської системи і для зберігання інформації про цифрові двійники міських об'єктів;

- *розробкою інформаційної системи* для створення цифрових двійників міських об'єктів як складової ІС "Розумне місто" (Smart City) на основі інтеграції сучасних ІТ (BIM, GIS, Artificial Intelligence, Internet of Things, Big Data);
- *розробкою системотехнічних засобів цифрового моделювання* процесів та структури адміністрування будівельного проєкту в термінах агрегування: "план–мета", "об'єкт–проєкт", "процес–час", "технологія–економіка", "система–ресурс", "комплекс–конвергенція";
- *розробкою сервіс-орієнтованої архітектури ІС* органів виконавчої влади для забезпечення інтеграції та спільного використання базових і тематичних просторових даних, отриманих з різних інформаційних джерел для узгодженості прийняття управлінських рішень;
- *розробкою прикладних інструментальних засобів* для обґрунтування вибору земельних ділянок та визначення їх прихованого потенціалу для розвитку міських територій в проєктах генерального планування комплексної житлової забудови.

Практична апробація наукових результатів підтверджується довідками та актами впровадження в проєктні, будівельні та девелоперські організації: ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», «Центробудпроєкт», «Альтіс-Констракшн», «Інститут місцевого розвитку», «Архітектурно-будівельні новації», холдинг «Фомальгаут-Полімін», «Будівельна фірма Альфа-сервіс». «Спецбудпроєкт». Окремі науково-методичні розробки впроваджено в науково-освітній процес Київського національного університету будівництва і архітектури, що також підтверджується Актами впровадження.

Особистий внесок автора. Всі основні положення та результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. З наукових праць, які опубліковані у співавторстві, у дисертаційному дослідженні використані тільки ті положення, які є результатом

особистої роботи автора: Конкретний внесок автора в кожну із вказаних праць визначено у переліку публікацій за темою дисертації.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на 35 міжнародних наукових конференціях: IEEE International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (Львів, CSIT 2022, CSIT 2021), International Conference on Smart Information Systems and Technologies (Казахстан, SIST-2023, SIST-2022), International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (Тернопіль, ІТТАР 2023, ІТТАР 2022, ІТТАР 2021), International Conference on Business and Technology (Стамбул, ICBT 2021), International Scientific-practical Conference on Mathematical Modeling and Simulation of Systems (Чернігів, MODS 2021), Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON 2021), International Workshop IT Project Management (Славське, ІТРМ 2021), “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (Київ, PICST 2019), а також на міжнародних конференціях «Управління розвитком технологій» (Київ, 2018-2023), «Проблеми інформатики та моделювання» (Одеса-Харків, 2022, 2021, 2019), «BUILD-MASTER-CLASS» (Київ, 2019-2023), «Prospects for the development of modern science and practice» (Австрія, 2020), «Scientific achievements of modern society» (Лондон, 2020), «Conference modern european science» (SHEFFIELD, 2019), XXVII Міжнародна Науково-практична Конференція «Microcad-2019» (Харків, 2019).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано **73** наукові праці, з яких: **10** наукових статей в міжнародних виданнях, що індексуються в наукометричній базі *Scopus* [1–10], **15** наукових статей у фахових виданнях України *категорії Б*, що входять до переліку ДАК МОН України [11–25], із них **8 одноосібно**, **8** наукових статей у фахових закордонних виданнях [26–33], **1** колективна монографія [34], **38** матеріалів міжнародних та українських

конференцій [35–73], **15** з яких проіндексовані в наукометричних базах *Scopus* та *Web of Science* [35–49].

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота є складається із титульного аркушу, анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 319 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 418 сторінок, з них основна частина складає 332 сторінки, 115 рисунків та 23 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПЕРЕДУМОВИ ОБНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ В ПРОЄКТАХ БУДІВНИЦТВА

1.1. Огляд існуючих онтологічних і теоретико-методичних підходів до інформаційного моделювання територіально-планувального простору

Інформаційне забезпечення навіть невеликого проєкту будівництва характеризується великим обсягом різномірної інформації з різних джерел отримання даних, які розподілені по окремим галузевим службам та інформаційним системам. Вивчення територіального простору проєкту будівництва виконується різними суб'єктами формування інформаційних ресурсів за своєю спрямованістю. На законодавчому рівні планування та управління територіями реалізується на різних організаційних рівнях: державному, регіональному та місцевому, тому інформаційне забезпечення має формуватися на основі територіально розподілених об'єктно-просторових систем з різним ступенем деталізації, генералізації та узагальнення інформації на кожному рівні.

Значний внесок в розвиток теоретичних та прикладних засад розробки інформаційних технологій в управління будівельними проєктами внесли наукові праці вітчизняних та іноземних вчених. Італійський дослідник Rivolin, U. J. в роботі [1], досліджуючи системи просторового планування, виявив, що такі системи являють собою специфічну соціальну конструкцію, що характеризується встановленням і застосуванням визначеного громадського порядку і методів співпраці в певних інституційних контекстах, у часі і просторі, спрямованих на управління колективними діями у використанні простору, що можуть сприяти економічним, соціальним та екологічним вигодам, які вимагають значного впровадження, розвитку та вдосконалення в

багатьох країнах [1]. Існує складність у розмежуванні понять «просторове планування» та «територіальне планування». Хоча вони можуть здаватися синонімами, між ними можна розрізнити тонкі відмінності. Дует вчених Jakubowski A. та Miszczuk A. з Maria Curie-Skłodowska University зазначають, що у країнах-членах Європейського Союзу визнається, що простір і територія є спорідненими, але не тотожними поняттями: простір є більш загальним і абстрактним, тоді як територія – це підконцепція з визначеними межами, часто з певною формою самоврядування [2]. Територіями можуть бути політичні або адміністративні одиниці, такі як держави, регіони, землі, провінції, райони та муніципалітети. На відміну від територій, простір є більш абстрактним поняттям, де адміністративні кордони є менш важливими, що часто використовується в дослідженнях перспектив соціально-економічного розвитку, тоді як територія використовується для вдосконалення територіальної організації суспільства або використання та охорони земель, визначення функцій (функціонального зонування) територій або землекористування.

Актуальність територіально-просторового планування для розвитку землекористування в Україні підкреслюється глобальним переходом до сталого розвитку, зростанням інтересу до управління земельними ресурсами та територіального розвитку. Добре організована система територіально-просторового планування сприяє соціально-економічному розвитку окремих регіонів, зокрема об'єднаних територіальних громад, підвищенню якості життя мешканців. Для сучасної України важливою є розробка комплексних стратегій управління землекористуванням та розвитку територій, оптимізації організації життєвого простору. Однак територіально-просторовий аспект розвитку країни часто не береться до уваги при прийнятті державних рішень, пов'язаних з регіональною та місцевою політикою. Завдяки постійному вдосконаленню законодавства та зростанню ролі місцевого самоврядування в Україні з'явилася

можливість скоригувати систему територіально-просторового планування з метою підвищення її ефективності.

Відповідно до статті 1 проєкту Містобудівного кодексу України, планування територій – це процес регулювання використання земель, що включає розроблення та реалізацію містобудівної документації, прийняття та виконання відповідних рішень [3]. Відповідно до статті 1 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», містобудівна документація – це затверджені текстові та графічні матеріали щодо регулювання планування, забудови та іншого використання територій [4]. Крім того, цей закон вводить поняття «комплексного плану просторового розвитку територіальної громади», яке одночасно є містобудівною документацією на місцевому рівні та документацією із землеустрою. Цей план визначає планувальну організацію, функціональне призначення території, основні принципи та напрями формування єдиної системи громадського обслуговування, вулично-дорожньої мережі, інженерно-транспортної інфраструктури, інженерної підготовки та благоустрою, цивільного захисту території та населення від небезпечних природних і техногенних процесів, охорони земель та інших компонентів навколишнього природного середовища, формування екомережі, збереження культурної спадщини і традиційного характеру середовища населених пунктів, а також послідовність реалізації прийнятих рішень, у тому числі поетапного розвитку території.

Виходячи з положень Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», територіальне планування розуміється як планування розвитку території, що включає встановлення функціональних зон та визначення планованого розміщення об'єктів загальнодержавного, регіонального та місцевого значення [4]. Його метою є визначення у документації з планування територій цільового призначення на основі сукупності соціальних, економічних,

екологічних та інших факторів для забезпечення сталого розвитку територій, розвитку інженерно-транспортної та соціальної інфраструктури.

Відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», містобудівна документація розробляється для всієї території України, регіонів, населених пунктів та їх частин [4].

У сфері землеустрою використовується термін «планування використання земель», який визначається в главі 30, статтях 177-180 Земельного кодексу України [6]. До форм землеустрою відносяться: 1) розроблення та затвердження програм землеустрою (загальнодержавних, регіональних); 2) планування територій; 3) природно-сільськогосподарське районування земель; 4) зонування земель. Відповідно до статті 180 Кодексу, зонування земель здійснюється в межах територій територіальних громад та встановлює вимоги до допустимих видів забудови та іншого використання земельних ділянок у межах окремих зон.

Відповідно до статті 2 Закону «Про землеустрій», землеустрій забезпечує планування та організацію раціонального використання та охорони земель на загальнодержавному, регіональному, місцевому та господарському рівнях [7]. Основним завданням землеустрою є: 1) «реалізація державної політики щодо науково обґрунтованого перерозподілу земель, формування раціональної системи землеволодінь і землекористувань з усуненням недоліків у розміщенні земель, створення екологічно стійких ландшафтів і агросистем»; 2) «інформаційне забезпечення правових, економічних, екологічних та містобудівних механізмів регулювання земельних відносин на загальнодержавному, регіональному, місцевому та господарському рівнях»; 3) Визначення меж адміністративно-територіальних одиниць, природоохоронних територій та земельних ділянок; 4) Прогнозування та планування раціонального використання та охорони земель на різних рівнях; 5) Організація територій аграрних підприємств для оптимального використання та охорони земель; 6) Розробка заходів для збереження ландшафтів, відновлення ґрунтів,

рекультивация та захист від ерозії та інших деградацій; 7) Організація територій несільськогосподарських підприємств для ефективного використання земель із встановленими обмеженнями [7].

Таким чином, Закон України «Про землеустрій» визначає, що більшість документації із землеустрою розробляється на місцевому рівні, і лише декілька видів документації розробляються на регіональному рівні – схеми землеустрою і техніко-економічні обґрунтування використання та охорони земель адміністративно-територіальних одиниць, а також проекти встановлення або зміни меж адміністративно-територіальних одиниць. До документації місцевого рівня належать, зокрема, проекти землеустрою для містобудівних потреб та житлових районів [7].

Сучасна система територіального планування в Україні розвивалася під впливом різних факторів, поєднуючи радянський та пострадянський досвід планування з окремими елементами європейських практик. Сьогодні під просторовим розвитком і плануванням розуміють оптимальну організацію простору (території) з урахуванням його ресурсних (передусім земельних та інших природних), соціально-економічних та екологічних характеристик, зв'язків і часових параметрів.

Аналізуючи різні підходи до розуміння сутності планування землекористування, зокрема А. М. Третяка та В. М. Третяка, визначено, що система планування сталого розвитку землекористування – це процес, який характеризується сукупністю цілеспрямованих дій та інструментів для досягнення збалансованого екологічного, економічного та соціального розвитку [15, 16].

Таким чином, сучасна система планування в Україні має міцну правову та інституційну основу, що базується на значному досвіді планування, однак вона постійно потребує вдосконалення та наукового супроводу документів, що розробляються, що дозволять зробити інтеграцію європейських підходів

ефективною та практичною, а не суто формальною, збагативши її національною специфікою.

Згідно з дослідженнями А. М. Третяка [17], сутність територіального планування використання земель завжди визначається означенням способів, режимів і видів раціонального використання земель для конкретної території, оцінкою стану використання земельних ресурсів, альтернативних моделей, інших природних, соціальних та економічних умов. Цей комплекс передбачає вибір і розвиток видів і режимів землекористування та типів діяльності, які найкраще підходять для вирішення поставлених завдань з урахуванням існуючих територіальних обмежень у землекористуванні. Відповідно, для забезпечення сталого розвитку землекористування без порушення балансу між збереженням природно-ресурсного потенціалу та вирішенням усього спектру соціальних, економічних, демографічних, культурних, інституційних та інших питань територіальне планування використання земель слід розглядати як ключовий важіль державної земельної політики, спрямований на задоволення інтересів державних, самоврядних, господарських і громадських суб'єктів в організації використання та охорони земель, а також як механізм адміністрування таких режимів використання земель юридичними та фізичними особами без шкоди для довкілля і суспільства. Згідно з теорією планування сталого розвитку землекористування, цільові орієнтири спрямовані не лише на економічне зростання, а й на інституціональні зміни в соціальному та екологічному стані відповідної території (рис. 1.1) [18 ; 56].



Рис. 1.1. Модель планування сталого землекористування

Вчені Ступень Р. М., Ступень О. І. та Кизило К. С. зазначають, що українська система просторового планування стикається з низкою викликів і потребує концептуальних змін для оновлення підходів. Пропонується запровадити єдину систему просторового планування для ефективного розвитку як міських, так і сільських громад, що передбачає перехід від нинішнього розділення містобудування та просторового планування і землеустрою до більш інтегрованого підходу. Запропоновані зміни мають на меті підвищити ефективність процесів планування на рівні місцевих громад [52 ; 53].

Відповідно до статті 22 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», ведення містобудівного кадастру організоване на трьох рівнях: державному, регіональному (обласному) та місцевому (міста, територіальні громади).

Візуалізація структури інформаційного наповнення даних містобудівного кадастру представлено на рис. 1.2 [4, 109].

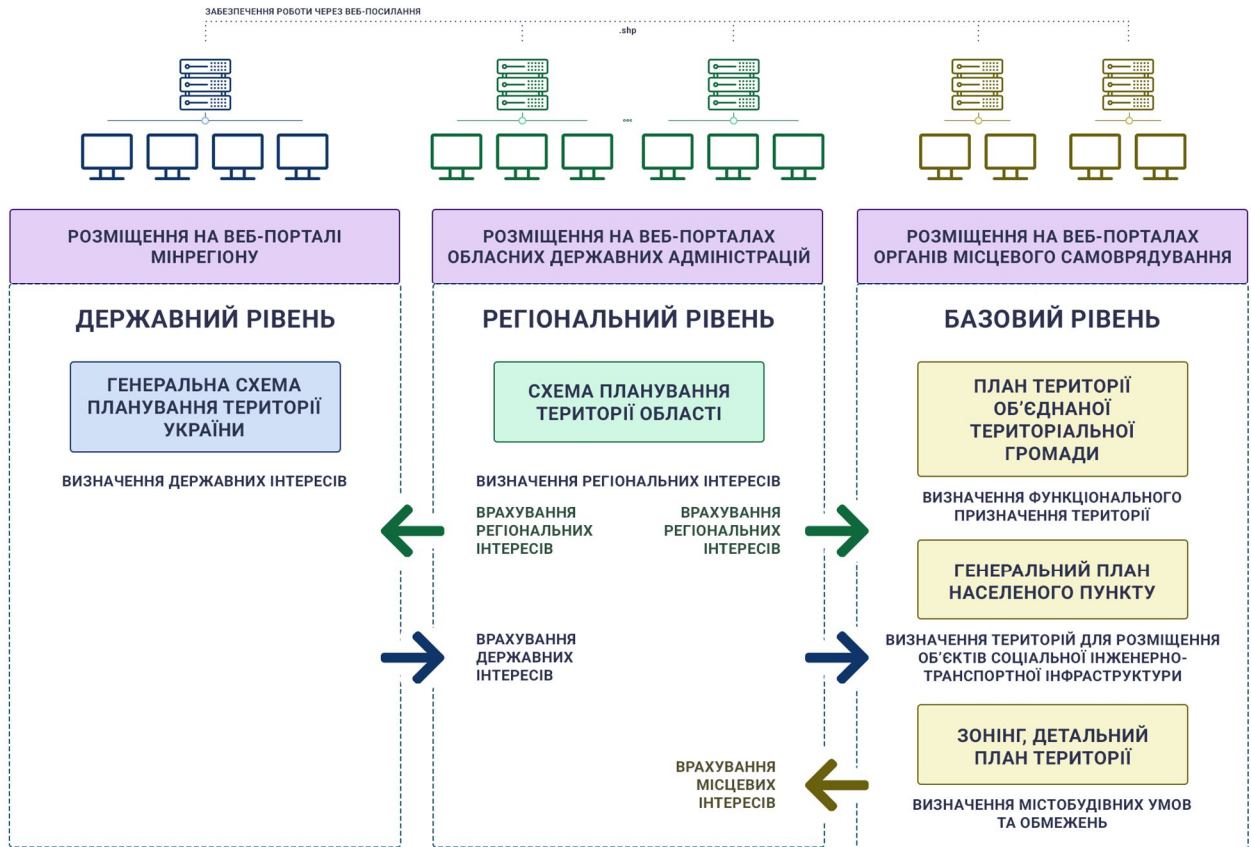


Рис. 1.2. Ієрархічна структура інформаційного наповнення даних містобудівного кадастру

Трирівнева структура містобудівного кадастру функціонує як державна система збору та використання геопросторових даних. Дана система служить різним суб'єктам для управління різними аспектами містобудівного кадастру, включи планування, будівництво та інші сфери містобудування, забезпечуючи потреби у відповідній інформації для ефективного управління територіями. Система передбачає створення спеціалізованих геоінформаційних ресурсів з боку державних органів влади.

Відповідно до ієрархічної структури (рис. 1.2), на державному рівні знаходиться «Генеральна схема планування території України», яка визначає державні інтереси. На регіональному рівні знаходиться «Схема планування території області», що визначає регіональні інтереси, а також враховує інтереси

державного і місцевого рівнів. На базовому рівні базується кілька елементів: «План території об'єднаної територіальної громади», «Генеральний план населеного пункту», «Зонінг, детальний план території», які разом визначають функціональне призначення територій, містобудівні умови та обмеження.

Кожен блок на схемі підключений до веб-порталів на відповідному рівні: міністерств, обласних державних адміністрацій та органів місцевого самоврядування, що демонструє, що всі плани і схеми доступні в електронному вигляді для відповідних організацій та громадськості.

Стрілки вказують на процеси взаємодії або затвердження між рівнями, зокрема регіональний і базовий рівні мають враховувати державні інтереси, в той час, як місцеві інтереси враховуються на регіональному рівні.

Верхня частина схеми зображує інтеграцію системи через інтернет-платформи або веб-сервіси для координації між різними рівнями управління і доступу до інформації.

Система містобудівного кадастру має ієрархічну структуру, що включає інформаційні ресурси, відмінні для кожного рівня. Наприклад, інформація про регулювання забудови, містобудівні умови та інші аспекти відрізняється на різних рівнях. У той же час, існують загальні дані, актуальні для всіх рівнів, як-то цифрові масиви геоданих, інформація про екологічний стан, обмеження охоронних територій, використання природно-заповідного фонду та інше. Вивчаючи праці Смілки В. А., можна зазначити, що на регіональному рівні актуальні дані про природні ресурси регіону [109]. Також, важливо відмітити, що інформація про використання водних ресурсів, облік об'єктів культурної спадщини, кадастр природних лікувальних ресурсів та інші галузеві кадастри є ключовими для містобудівного кадастру на усіх рівнях: від місцевого до державного..

Вплив великих даних на географічні дослідження полягає у переході від статичних моментальних знімків до динамічного опису та від грубих агрегацій

до даних високої роздільної здатності, що змінює підходи від структурних до процесних. Просторовий аналіз розглядає географічні моделі даних та аналізує взаємозв'язки між об'єктами. Він характеризується підходом до локальної статистики, наприклад, географічно зваженою регресією та локальними індикаторами просторової асоціації.

Відповідно до програми UN Habitat, Міжнародні настанови з урбаністичного і територіального планування (IG-UTP) – це класифікація глобальної рамки для покращення політик, планів та проєктувань, спрямованих на створення більш компактних, соціально інклюзивних, краще інтегрованих та об'єднаних міст і територій, які сприяють сталому урбаністичному розвитку та стійкості до змін клімату[19].

Принципи IG-UTP складаються з адресації конкуруючих інтересів, зв'язку з загальною стратегією розвитку, підтримки і сприяння стійкому та інклюзивному економічному зростанню, забезпечення просторової рамки для захисту і управління природним й збудованим середовищем та інших аспектів, які спрямовані на поліпшення умов життя та роботи усіх ланок суспільства [19].

Підхід IG-UTP до просторового планування передбачає використання різних просторових, інституційних та фінансових вимірів на різних часових горизонтах та просторових масштабах, включаючи вимоги до ефективного управління містами, покращення координації, залучення громадськості та періодичних коригувань [19].

IG-UTP та Національна міська політика (NUP) є ключовими інструментами в реалізації сталого розвитку міст. IG-UTP пропонує політичні рекомендації для допомоги країнам і зацікавленим сторонам у сфері урбанізації та населених пунктів, орієнтуючи національні та місцеві органи влади, фахівців і представників громадянського суспільства на ефективне міське та регіональне планування [21]. Традиційні моделі міського планування, такі як генеральні плани, все частіше розглядаються як застарілі і замінюються більш

партисипативними та інклюзивними методами. У Звіті ООН Habitat про стан міст світу висвітлено значні зміни в режимах планування та правових рамках для врахування ширшого спектру потреб і прагнень зацікавлених сторін [22]. IG-UTP слугує глобальним інструментом для оцінки систем міського планування та керівництва розробкою міських планів, які охоплюють практики, що ґрунтуються на фактичних даних і передбачають участь усіх зацікавлених сторін.

NUP – це узгоджена система прийняття рішень під керівництвом урядів, що має на меті узгодити дії різних суб'єктів зі спільним баченням трансформаційного, інклюзивного та стійкого розвитку міст [23]. Вирішення складних міських проблем, таких як швидка урбанізація, брак простору, забруднення повітря та води тощо, вимагає широкої координації між урядовими секторами. Перехід до стратегічного міського планування та комплексних платформ міської політики розглядається як ключовий фактор трансформації міських форм [22]. NUP – це стратегічні урядові інструменти, які посилюють координацію та політичні процеси, реалізуючи потенціальні механізми участі та розвитку. Визнані ООН Habitat та іншими міжнародними організаціями, NUP вважаються життєво важливими для інтеграції розрізненої енергетики міських центрів у національні міські системи та при стратегічному територіальному плануванні [22]. Експертна група політичного підрозділу 3 з питань національної міської політики, скликана на конференцію Habitat III, підкреслила вирішальну роль NUP у реалізації цілей сталого розвитку (SDGs), і як важливого показника досягнення цих SDGs [22]. Постійний розвиток та оцінка довгострокового впливу NUP, включаючи їхню роль у моніторингу виконання цілі 11 SDGs – «зробити міста і населені пункти відкритими, безпечними, життєздатними і стійкими», – має фундаментальне значення.

Стала урбанізація передбачає інклюзивні населені пункти, в яких мешканці беруть активну участь у розробці, впровадженні та нагляді за міською

політикою та планами, підвищуючи їх ефективність, прозорість та підзвітність [24]. Зміна парадигми в бік суттєвої трансформації міського планування та політики на всіх рівнях розвитку необхідна для того, щоб змінити способи планування, розвитку та управління містами на засадах сталого розвитку. Науковці Sietchiping R., Reid J. Та Omwamba J. Зазначають, що IG-УТР та NUP відіграють важливу роль у SDGs – національній основі для сталого розвитку міст у контексті SDGs та Urban Agenda for the EU. Ці інструменти пропонують комплексний набір систем планування, адаптованих до різних умов, що охоплюють такі аспекти, як національні та просторові стратегії, муніципальні фінанси, міське управління, а також розвиток потенціалу та інституційний розвиток [25].

Деякі країни вже досягли значних успіхів у впровадженні та оновленні систем територіально-просторового планування, що відкриває значні перспективи у цій сфері. Особливий інтерес становить досвід територіально-просторового планування в країнах-членах Європейського Союзу (ЄС), хоча вони ще не виробили єдиної моделі організаційної структури, яка може бути адаптована до конкретних умов і цілей розвитку.

В Європейському Союзі на підходи до просторового планування впливають різні директиви та політики, зокрема: Directive 2001/42/EC «Strategic Environmental Assessment Directive» (SEA Directive) [26]; Directive 2011/92/EU зі змінами у Directive 2014/52/EU «Environmental Impact Assessment Directive» (EIA Directive) [27 ; 28]; Directive 79/409/EEC зі змінами у Directive 2009/147/EC «Birds Directive» [29 ; 30]; Council Directive 92/43/EEC «Habitats Directive» [31]; Directive 2000/60/EC «Water Framework Directive» [32]; Directive 2008/50/EC [33] та Directive 2004/107/EC «Ambient Air Quality Directives» [34]; EU biodiversity strategy for 2030 [35], що відображають різноманітний та інтегрований характер планування в регіоні.

У контексті сталого розвитку міст, SDGs Організації Об'єднаних Націй та Urban Agenda for the EU зосереджуються на законодавстві та політиці, які сприяють цим глобальним ініціативам у сфері просторового планування та управління. Цей підхід спрямований на розробку стратегій просторового планування, які відповідають ширшим міжнародним цілям і зобов'язанням.

Directive 2001/42/EC «Strategic Environmental Assessment Directive» (SEA Directive) визначає процеси стратегічно орієнтованої оцінки для інтеграції екологічних міркувань у процес планування та прийняття рішень у державах-членах ЄС, як важливий для сприяння сталому розвитку і підтримується детальним керівництвом щодо його впровадження [26].

Directive 2000/60/EC «Water Framework Directive» про морське просторове планування наголошує на застосуванні екосистемного підходу в плануванні задля підтримки роботи планувальників, експертів та зацікавлених сторін у державах-членах ЄС, сприяючи цілісному та сталому управлінню морським та прибережним середовищем. ЄС має юридично обов'язкову основу для створення морських просторових планів у виключних економічних зонах своїх держав-членів. Ці рамки підтримуються Європейською Комісією, яка надає інструменти та фінансування для допомоги державам-членам у їхніх зусиллях з планування. Досвід ЄС у сфері морського просторового планування також сприяє вирішенню глобальних і регіональних проблем управління океаном [32].

Ландшафтне планування є важливим інструментом європейського планування, що значною мірою сприяє інтеграції принципів сталого (збалансованого) розвитку у відповідні політики. Необхідність впровадження ландшафтно-політичної політики для успішного територіального розвитку підкреслюється в керівних принципах, сформульованих як «включення питань ландшафтного розвитку в просторове планування та галузеві програми» й «реалізація інтегрованої політики, спрямованої на одночасну охорону, управління та планування ландшафтів» [12]. Badach J. Та Raszeja E. в межах свого

дослідження визначили, що у більшості європейських країн інструмент ландшафтного планування у різних формах та з акцентом на досягнення природоохоронних цілей є частиною системи територіального планування, розвиваючись разом з нею як «ключовий інструмент планування, спрямований на охорону природи та управління ландшафтами» [13]. Такий підхід оптимізує взаємовідносини між суспільством і природою в межах конкретних територій, формуючи багаторівневу систему – національну, а згодом і транснаціональну. У Європейській ландшафтній конвенції (ELC) ландшафтне планування визначається як проактивне планування, спрямоване на поліпшення, відновлення та формування ландшафтів [5, 14].

Означені підходи до землекористування та просторового планування в ЄС демонструють прагнення інтегрувати екологічну стійкість, стратегічне планування та цілісний погляд на просторовий розвиток у процесі планування. Вони являють собою поєднання стратегічного мислення, законодавчої бази та практичних рекомендацій, спрямованих на досягнення цілей сталого розвитку та ефективного управління у сфері просторового планування.

У Сполученому Королівстві уряд описує територіально-просторове планування як процес, що виходить за рамки простого планування землекористування та охоплює інтеграцію політики розвитку та стратегій землекористування з іншими політиками й програмами, які впливають на характер і функції території. Сюди входять політики, які можуть впливати на землекористування, але не реалізуються виключно або переважно через надання або відмову в наданні дозволів на будівництво, а можуть бути реалізовані альтернативними методами [8].

Підхід до просторового планування реалізується з акцентом на інтеграцію цифрових технологій та вирішення міських і суспільних проблем, де стратегії просторового розвитку готуються обраними мерами або об'єднаними органами влади та визначають стратегічну політику землекористування та розвитку, що

закріплюються в Національних основах політики планування (NPPF). Означені політики визначають засади стратегічного планування на різних рівнях, від регіонального до місцевого та принципи їх застосування, що також корегуються «керівництвом з практики планування» [9].

Дослідники Batty M. та Yang W. В межах роботи «Цифрове майбутнє для планування: переосмислення просторового планування» демонструють, що уряд Великої Британії все більше уваги приділяє впровадженню цифрових технологій, таких як географічні інформаційні системи (GIS) та системи автоматизованого проєктування і розрахунку (CAD), у процесі планування. Однак ефективна інтеграція цих технологій залишається проблематичною, оскільки часто існує розрив між технічними експертами і планувальниками. Проте, загальною метою є створення методологій, які дозволять планувальникам інтегрувати міждисциплінарні дані та приймати рішення на основі фактичних даних, тим самим підвищуючи ефективність та оперативність просторового планування [10].

Колектив вчених з University College London визнають та фіксують важливість правил планування для формування міського розвитку, контролю зовнішніх ефектів і максимізації соціальних та екологічних переваг. Останні тенденції до дерегуляції викликали занепокоєння щодо ефективності місцевого планування. Тривають дебати щодо балансу між проактивністю у забезпеченні розвитку та збереженням регуляторного контролю для забезпечення ефективного задоволення потреб суспільства у розвитку міських територій. Земельна реформа та визначення вартості землі також є важливими темами, які зосереджені на балансі між приватною власністю на землю, суспільними вигодами і розвитком громади [11].

Таким чином, підходи до просторового планування у Великобританії відображають динамічну сферу, яка адаптується до сучасних викликів, включаючи цифрову трансформацію, урбанізацію та екологічну стійкість.

Система планування у Великій Британії (рис. 1.3) продовжує розвиватися, прагнучи узгодити потреби розвитку з потребами громад та довкілля.



Рис. 1.3. Національні основи політики планування Великої Британії

Відповідно до відомостей Міністерства навколишнього середовища, просторового планування та енергетики Словенії, територіально-просторове планування було визначено в Законі про територіально-просторове планування у 2002 році як міждисциплінарна діяльність, що включає в себе планове землекористування, створення умов для розвитку і локалізації різних видів діяльності, визначення заходів для поліпшення існуючих фізичних структур, а також визначення умов для територіального розміщення і створення запланованих фізичних структур [8].

Система просторового планування в Італії, відповідно до інформації Міністерства інфраструктури та транспорту, характеризується зосередженістю на регіональному розвитку, збереженні довкілля та координації з політикою ЄС. Система є децентралізованою, що дозволяє різним рівнями влади відігравати важливу роль у просторовому плануванні. Регіональні територіальні плани

(PTR) та Плани територіальної координації провінцій (PTCP) є ключовими компонентами та стосуються землекористування, розвитку інфраструктури та захисту навколишнього середовища. Крім того, ландшафтні плани, як того вимагає Акт Галассо [109], мають важливе значення для збереження регіональних ландшафтів. Центральний уряд координує політику ЄС і регіональне планування, забезпечуючи узгодженість зі Структурним фондом ЄС. Програма омолодження міст та сталого територіального розвитку (Prusst) – є ініціативою, яка наголошує на відродженні міст та сталому розвитку [36].

Система просторового планування в Данії розвивалася протягом багатьох віків, відображаючи зміни в політичній ідеології та інституційних структурах. Закон про планування, що мав зміни у 2005 та 2007 роках, відіграє вирішальну роль у національному процесі планування. Система передбачає ієрархію планів, включаючи національні стратегії планування, регіональні, муніципальні та місцеві плани, кожен з яких узгоджується з рішеннями на вищих рівнях (рис. 1.4).

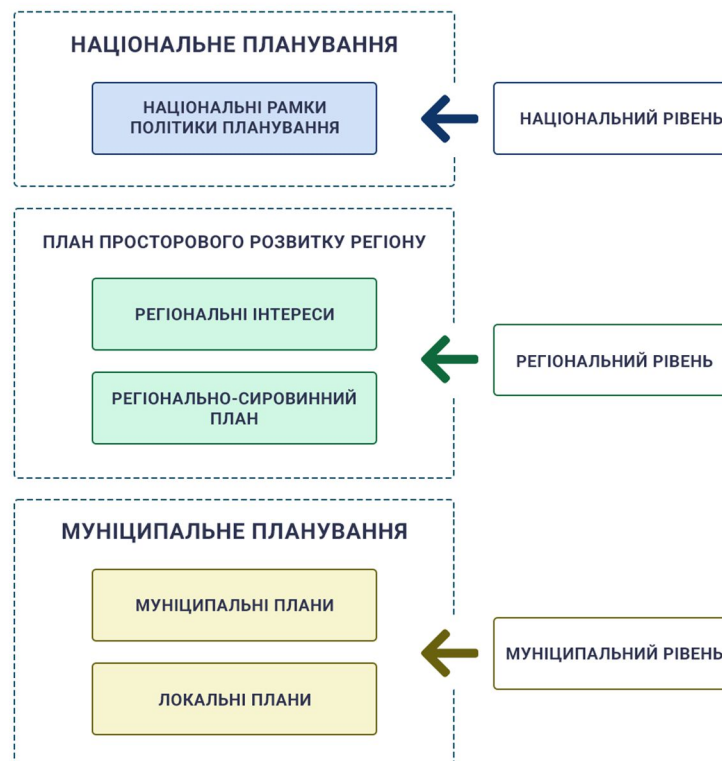


Рис. 1.4. Система просторового планування Данії

Вчений Galland D. Досліджуючи національну систему планування у Данії визначив, що Міністерство охорони навколишнього природного середовища встановлює загальні рамки для регіональних і муніципальних планів за допомогою різних документів, включаючи звіт про національне планування та директиви ЄС. Міністр також має право вето, щоб забезпечити відповідність муніципальних планів національним інтересам. Ключові характеристики системи просторового планування Данії визначено [110]:

- **Національне планування**, що включає національні звіти з планування, які подаються Міністерством охорони навколишнього середовища після кожних виборів, з акцентом на регіональний розвиток та муніципальне планування. Ці звіти мають політичне значення, але не є юридично обов'язковими;
- **Регіональне планування**, що визначається обласними радами, які розробляють плани просторового розвитку – стратегічні документи, що не мають обов'язкової сили для муніципальних планів;
- **Муніципальне планування** реалізується муніципалітетами, що відповідають за розробку муніципальних планів, які слугують основою для детальних місцевих планів та окремих проєктів розвитку;
- **Участь громадськості та права на планування** є невід'ємною частиною Данських принципів планування, що наголошують на рамковому контролі, децентралізації та участі громадськості, гарантуючи, що плани на нижчих рівнях узгоджуються з цілями та рішеннями на вищому рівні;
- **Морське просторове планування** Данії є юридично обов'язковим та спирається на положення Директиви ЄС про морське просторове планування

та зосереджується на сталому розвитку й галузевій координації на території морських районів країни.

Система просторового планування в Нідерландах (рис. 1.5) регулюється законом про просторове планування (WRO), який визначає порядок реалізації просторових планів держави, провінцій та муніципалітетів. Ключові принципи просторового планування в Нідерландах передбачають прийняття рішень на національному, регіональному та місцевому рівнях з акцентом на сталий економічний та соціальний розвиток. Національна стратегія включає розподіл земельних і водних ресурсів та імплементацію норм ЄС у національне законодавство. Основні види землекористування охоплюють житлову, промислову, комерційну діяльність, сільське господарство, транспорт, інфраструктуру, а також діяльність, пов'язану з природою та біорізноманіттям.



Рис. 1.5. Система планування в Нідерландах

Закон про просторове планування надає пріоритет регулюванню на муніципальному рівні, забезпечуючи гнучкість і реагування на місцеві потреби.

Роль держави зосереджена на питаннях національного значення, таких як доступність, викладених у Просторовому баченні інфраструктури та просторового планування (SVIR). Провінції керують регіональними інтересами, такими як управління ландшафтом, урбанізація та збереження зелених насаджень, що детально описано в «просторових баченнях». Найважливішим інструментом просторового планування є план землекористування, який регулює будівництво, розміри будівель та їх використання. Крім того, Нідерланди переглядають своє законодавство у сфері довкілля та планування через Закон про довкілля та планування (Omgevingswet), що має на меті спростити правила для просторових проєктів. Цей закон спрямований на модернізацію та гармонізацію чинних правил планування землекористування, природоохоронного законодавства, а також управління природокористуванням та водними ресурсами, що дозволить більш раціонально реалізовувати проєкти [37 ; 38].

Шведська система просторового планування (рис. 1.6) керується Законом про планування і будівництво та Екологічним кодексом й передбачає спільний підхід, коли різні суспільні інтереси збалансовуються у відкритому і демократичному процесі, з сильним акцентом на правах людей.

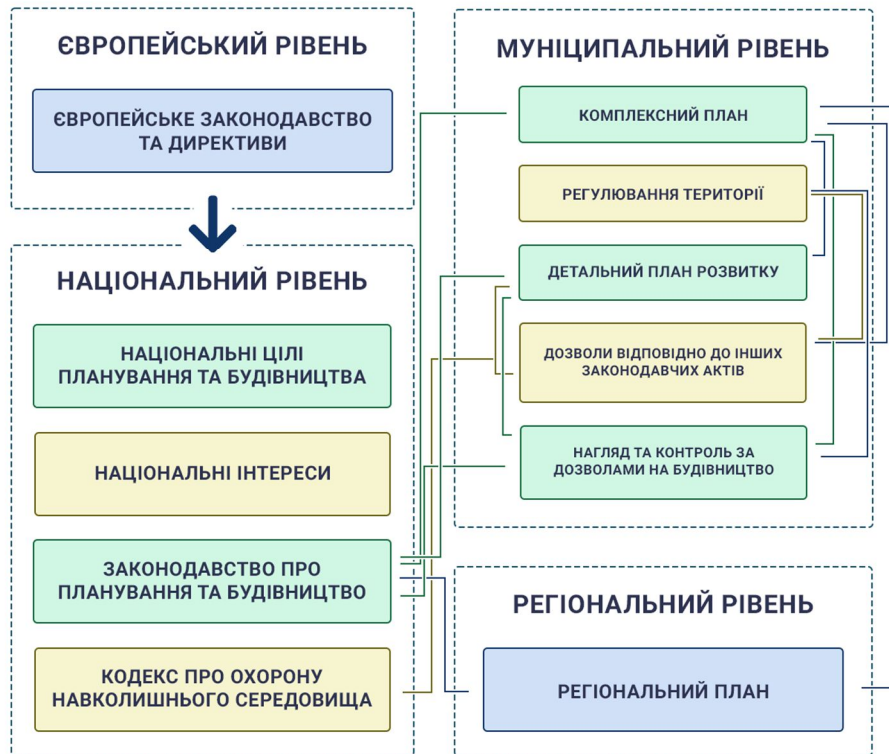


Рис. 1.6. Система територіально-просторового планування в Швеції

На основі опрацювання джерел [39–42] система територіально-просторового планування в Швеції має наступну структуру:

- **Національний рівень.** Швеція не має міжгалузевого планування земельних ресурсів на національному рівні, однак вона бере участь у морському плануванні на національному рівні. Держава встановлює рамки для муніципального та регіонального планування через національні цілі та визначає претензії, що становлять національний інтерес. Національне планування транспортної інфраструктури також впливає на муніципальне та регіональне фізичне планування;
- **Регіональний рівень.** Рівень регіонального планування у Швеції є відносно обмеженим, проте фізичне планування регулюється в окремих регіонах (наприклад, регіон Сконе, регіон Стокгольм, регіон Халланд), а

регіональне просторове планування може бути запроваджене в інших регіонах за потреби;

- **Муніципальний рівень.** Муніципалітети відповідають за планування земельних і водних територій у межах своїх кордонів. Вони мають повноваження затверджувати плани та приймати рішення щодо їх реалізації;

- **Комплексний план.** Кожен муніципалітет повинен мати актуальний комплексний план, що охоплює всю територію. У цьому плані представлено цільове використання земельних і водних територій, розвиток і збереження антропогенного середовища, а також те, як будуть забезпечуватися громадські та національні інтереси;

- **Територіальні правила.** Правила, що дозволяють муніципалітетам регулювати земле- та водокористування для забезпечення цілей комплексного плану або задоволення національних інтересів;

- **Детальний план розвитку.** Це план, який регулює використання земельних і водних територій, а також зовнішній вигляд забудованого середовища в конкретних районах;

- **Морське просторове планування.** Відповідно до Директиви ЄС про морське просторове планування, Швеція розробила морські просторові плани для різних географічних зон, які спрямовані на забезпечення сталого використання морських ресурсів та сприяння співіснуванню різних видів діяльності;

- **Участь дітей та молоді.** Швеція відома тим, що залучає дітей та молодь до процесів партисипативного планування. У 2020 році було ухвалено закон про залучення молоді та дітей до просторового планування, що робить Швецію цікавим прикладом традицій планування, дружнього до дітей.

Відповідно до наукової роботи Nowak M. J., Monteiro R., Olcina-Cantos J. та Vagiona D. G., система просторового планування в Іспанії закріплена за

Міністерством землі, інфраструктури, транспорту і туризму й відображає децентралізовану структуру країни та інтеграцію в політику ЄС. Іспанія складається з 17 автономних регіонів, кожен з яких має власне законодавство у сфері планування. Просторова політика країни характеризується концентрацією міського населення у великих містах і численними невеликими сільськогосподарськими громадами. Закон про землю (*Ley del Suelo*), вперше прийнятий у 1956 році і згодом доповнений, є наріжним каменем просторового планування Іспанії, реалізація якого в основному делегована місцевим органам влади в автономних регіонах. Ця система включає такі плани, як Генеральний план території (PTG), Керівні принципи територіального планування (DOT) та Генеральний план зонування міст (PGOU), що зосереджені на збалансованому регіональному розвитку, підвищенні якості життя та збереженні довкілля [43].

Колективи вчених, зокрема Keijser X., Ripken M., Mayer I. S., Warmelink H. J., Abspoel L., Fairgrieve R., та Paris C. ; Hugé J. ; Lauwers H., визначили, що система просторового планування в Бельгії характеризується регіоналізованим підходом зі значною автономією, наданою різним регіонам. Децентралізована система відображає складну політичну структуру країни, де просторове планування є переважно регіональною компетенцією без федерального нагляду.

Опрацювання джерел [41, 44, 45, 47] дає змогу визначити такі ключові аспекти системи:

- **Регіональна компетенція.** Територіальне планування в Бельгії є сферою відповідальності на регіональному рівні, що включає в себе визначення політики і систем територіального планування, законодавство і правила планування, а також видачу дозволів на будівництво великих інфраструктурних проєктів;
- **Місцеві органи влади.** Місцеві органи влади, включаючи провінції та муніципалітети, відіграють важливу роль у розробці та реалізації місцевих

планів землекористування. Вони відповідають за надання дозволів на будівництво, організацію розробки політики та надання послуг на міжмуніципальному рівні;

- **Морське просторове планування.** Бельгія також прийняла юридично обов'язкові Морські територіальні плани для бельгійської частини Північного моря. Ці плани, розроблені відповідно до Закону про морське середовище та Постанови про морське просторове планування, – є орієнтиром для національних органів влади, регіонів, муніципалітетів у прийнятті майбутніх рішень, плануванні та процесах ліцензування, пов'язаних з використанням моря;

- **Участь різних зацікавлених сторін.** Процес просторового планування в Бельгії передбачає участь різних зацікавлених сторін, включаючи регіональні та місцеві органи влади, експертів і громадян.

Система просторового планування в Норвегії регулюється Законом про планування та будівництво – інструментом захисту суспільних інтересів та управління землекористуванням, забезпечуючи сталий розвиток по всій країні. Система планування дозволяє всім брати участь у прийнятті рішень, що стосуються їхнього оточення. Закон про планування та будівництво зосереджується як на процесах планування, так і на процесах будівництва, надаючи загальні рекомендації та вказівки для кожного етапу планування, незалежно від того, чи відбувається це на муніципальному, регіональному або національному рівнях. Система розроблена таким чином, щоб бути всеосяжною та інклюзивною, включаючи різні аспекти землекористування та залучення громадськості [48].

Система просторового планування в Польщі регулюється насамперед Законом про просторове планування та розвиток від 27 березня 2003 року, який встановлює трирівневу ієрархію системи просторового планування, що

складається з національного, регіонального (воєводського) та місцевого (муніципального) рівнів [41, 44, 113]:

Національний рівень. Основним документом, що регулює планування на цьому рівні, є Національна концепція просторового розвитку (НКПР), що окреслює загальну стратегію просторового розвитку всієї Польщі, включаючи як сухопутні, так і морські території;

Регіональний (воєводський) рівень. Воєводства (регіональні органи влади) відіграють ключову роль у просторовому плануванні в межах своєї юрисдикції. Основна увага часто приділяється задоволенню потреб регіонального розвитку та їх інтеграції з національними цілями;

Місцевий рівень. Муніципалітети відповідають за детальне просторове планування на своїх територіях, створюючи плани, що відповідають місцевим потребам та умовам. Ці плани мають вирішальне значення для визначення землекористування, будівельних норм і стратегій розвитку на місцевому рівні;

Морське просторове планування. Польща також прийняла Морський просторовий план для внутрішніх морських вод, територіального моря та виключної економічної зони. Цей план був розроблений відповідно до Директиви ЄС про морське просторове планування і спрямований на забезпечення сталого розвитку та використання морських ресурсів. Процес включає різні детальні плани для конкретних морських районів і портів.

Польська система просторового планування розвивалася протягом багатьох років, адаптуючись до мінливих соціально-політичних та економічних умов. Вона спрямована на сталий розвиток, ефективне використання земельних і морських ресурсів та інтеграції різних рівнів просторового планування для досягнення узгодженого національного розвитку.

Грецька система просторового планування діє на різних рівнях: національному, регіональному та місцевому. На національному рівні існують загальні та спеціальні рамки для просторового планування та сталого розвитку,

які представляють цілі та стратегії високого рівня для країни. Регіональний рівень включає рамки, що стосуються регіонів та їхнього розвитку. На місцевому рівні використовуються регуляторні плани та генеральні плани міст, що законодавчо закріплюють існування міст чи сіл і запобігають несанкціонованій забудові. Однак участь громадськості у створенні цих планів є мінімальною і обмежується переважно публічними зібраннями, які організуються муніципалітетами під час виборчих періодів [49].

Детальним дослідженням системи просторового планування в Австрії займався колектив вчених Koçiu A., Schwarz L., Hagen K. та Rudolf-Miklau F., що означили Концепція просторового розвитку Австрії (ÖROK) – орган, до складу якого входять федеральний уряд, регіони та муніципалітети. Ключовим стратегічним інструментом просторового розвитку є Концепція просторового розвитку Австрії на 2030 рік (ÖREK 2030), яка фокусується на темі «Потреби у трансформації». Концепція ÖREK 2030, оновлена у порівнянні з ÖREK 2011 та наголошує на впровадженні й ефективності, а також запроваджує концепцію партнерств ÖREK для розробки детального змісту та підходів до вирішення проблем. ÖREK включає створення базових матеріалів для планування, представлення експертних аналізів у вигляді Рекомендацій ÖREK та публікацію Звіту з просторового планування кожні три роки. Крім того, Атлас ÖREK є веб-інструментом для аналізу просторового планування в Австрії, який є частиною Регіональної системи моніторингу [50].

Система просторового планування в Сполучених Штатах характеризується децентралізацією та різноманітністю на рівні штатів. Не існує всеохоплюючого федерального органу планування землекористування, але федеральний уряд впливає на землекористування за допомогою різних програм і нормативних актів, таких як Закони про чисте повітря і воду. Місцеві органи влади мають значні можливості для самоорганізації у плануванні. Такі ініціативи, як Партнерство сталих громад та регіональні гранти на планування

сталих громад, запроваджені за часів адміністрації президента Барака Обама, мають на меті сприяти розвитку сталих громад та посиленню міжінституційної співпраці. Відповідно до праці Lopez Juan Carlos G. з Lincoln Institute of Land Policy, механізми планування на рівні штатів різняться: в одних штатах, таких як Орегон, місцеві плани затверджуються, переглядаються і схвалюються, а в інших, таких як Каліфорнія, значні повноваження делегуються місцевим органам влади. Лише кілька штатів, такі як Нью-Джерсі та Делавер, мають комплексні плани розвитку штату [51].

Система просторового планування в Китаї регулюється Законом про управління земельними ресурсами Китайської Народної Республіки, який встановлює правовий статус територіального просторового планування. Система просторового планування дотримується принципів екології, зеленого та сталого розвитку, науково і впорядковано організовує функціональні зони, включаючи екологічні, сільськогосподарські та міські райони для оптимізації просторової структури і планування території. Система складається з «п'яти рівнів, трьох типів, чотирьох систем» що охоплюють різні адміністративні рівні (від національного до селищного), типи планів (комплексні, детальні та спеціальні), а також системи розробки, затвердження, впровадження, нагляду, законодавства, політики та технічних стандартів [54].

Система просторового планування Південної Кореї (рис. 1.7) регулюється рамковим документом, який включає Комплексний національний територіальний план, створений відповідно до Рамкового закону про національну територію у 2002 році. Дослідники Cho H., Kim J. та Lee E. зазначають, що національний план працює разом з комплексними планами провінцій та планами міст. Крім того, галузеві плани, такі як Національний план розвитку транспортної мережі та Житловий план, узгоджуються з цими ширшими планами. Система має багаторівневу структуру, інтегруючи національні, провінційні та міські плани [55].

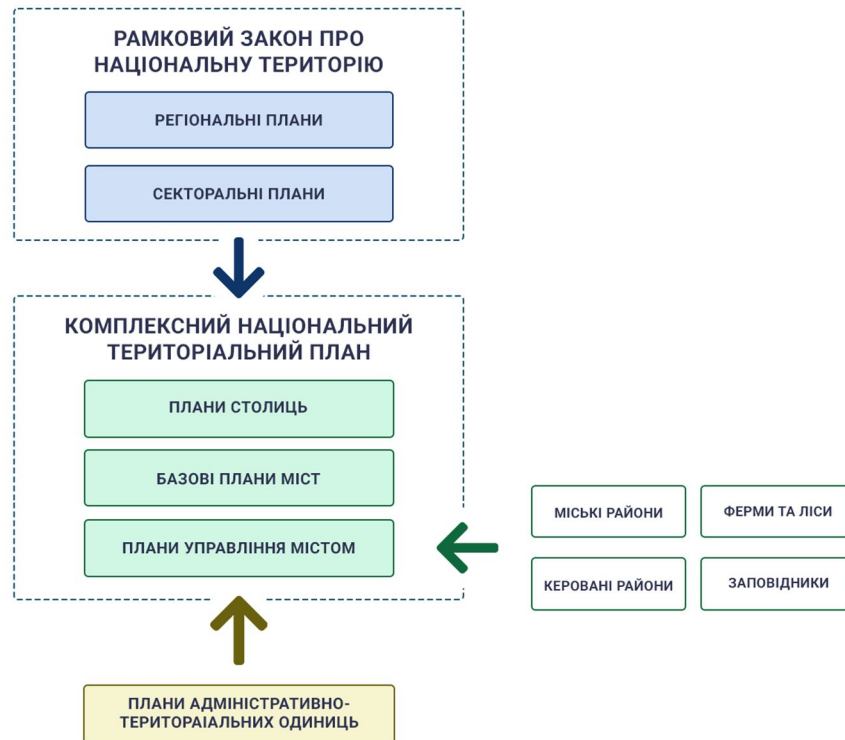


Рис. 1.7. Система просторового планування Південної Кореї

Національний план зосереджений на довгостроковому розвитку з акцентом на регіональній конкурентоспроможності, зеленому зростанні та міжнародному співробітництві. Він включає конкретні стратегії, спрямовані на посилення регіональної спеціалізації, створення дружніх до природи просторів і розвиток глобального зв'язку [36, 55].

При цьому, регіональні плани включають плани розвитку: мегаполісів, столичних районів, спеціальних районів та інших районів, що визначені законом. Водночас секторальні плани складаються з: Національних планів розвитку портів, Національних планів розвитку аеропортів, Національних планів розвитку дорожньої мережі, Комплексних довгострокових планів використання водних ресурсів та Планів основних державних маршрутів руху.

1.2. Систематизація і аналіз компонентів інформаційних технологій і систем, які відповідають потребам формалізованого моделювання територіального простору та сучасним директивним вимогам

Відповідно до Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [57] визначено правові та організаційні засади створення, функціонування і розвитку національної інфраструктури геопросторових даних. Ця інфраструктура покликана забезпечити прийняття ефективних рішень органами державної влади та органами місцевого самоврядування, задоволення суспільних потреб у географічній інформації та інтеграцію у світову та європейську інфраструктуру геопросторових даних.

Структура інфраструктури геопросторових даних містить такі компоненти:

- **Геопросторові дані** – базові геопросторові дані, тематичні геопросторові дані та метадані. Закон визначає різні категорії геопросторових даних і метаданих, їх функціональні можливості та умови використання;
- **Технічні та програмні засоби** – геоінформаційні системи та сервіси геопросторових даних, що необхідні для обробки, зберігання, візуалізації та використання геопросторових даних;
- **Національний портал геопросторових даних** – центральна платформа для публікації та доступу до геопросторових даних і метаданих, що забезпечує інтероперабельність та інтеграцію даних з різних джерел;
- **Нормативно-правова база** – Закон, що визначає ролі та обов'язки різних державних органів і власників даних у створенні, підтримці та поширенні геопросторових даних;
- **Інтероперабельність та стандарти** – сумісність, функціональна та інформаційна автоматизована взаємодія між різними геопросторовими даними, метаданими, технічними та програмними засобами;

- **Доступ та безпека** – настанови щодо забезпечення відкритого доступу до геопросторових даних і метаданих при збереженні цілісності та безпеки даних;
- **Міжнародне співробітництво** – положення щодо участі в міжнародних ініціативах у сфері геопросторових даних та дотримання міжнародних угод.

Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» встановлює правові та організаційні засади містобудівної діяльності, спрямовані на забезпечення сталого розвитку територій з урахуванням державних, громадських й приватних інтересів, серед яких:

- Визначення та обсяг містобудівної діяльності;
- Планування та забудова територій, включаючи прогнозування та зонування;
- Правові та регуляторні аспекти, включаючи дотримання містобудівної документації;
- Ролі та обов'язки різних державних органів та суб'єктів у сфері містобудування;
- Об'єкти та суб'єкти містобудівної діяльності, визначення того, що є містобудівною діяльністю та хто є її ключовими учасниками;
- Зобов'язання щодо дотримання містобудівної документації для всіх видів містобудівної діяльності.

Ця комплексна система спрямована на регулювання містобудівної діяльності в Україні з урахуванням різних аспектів, таких як сталий розвиток, громадські інтереси та дотримання законодавства [4].

Відповідно до Наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 22 лютого 2022 року №56 «Про затвердження структури Баз геоданих містобудівної документації на місцевому рівні» визначено структуру бази

геоданих, що визначає набори класів об'єктів, класи просторових об'єктів, геометричне представлення класів, перелік атрибутів об'єктів включно з типом, довжиною, значенням за замовченням, дозволом на порожнє значення (NULL) та загальним переліком допустимих значень атрибутів. Також нормативний документ визначає класи відношень, між класами-джерелами та класами-адресатами. Водночас, кардинальність відношення може бути визначена як: один до одного, один до багатьох та багато до багатьох. Прикінцеві розділи документу визначають правила топології, що визначають правила до переліку класу об'єктів відповідно до «контрольного» класу об'єкту.

Наказ Міністерства розвитку громад та території України «Про затвердження структури Баз геоданих містобудівної документації на місцевому рівні» відіграє визначну роль в організації та управлінні геопросторовими даними, необхідними для містобудівної діяльності в Україні [59]. Структура є комплексною і включає такі елементи, як мітки об'єктів, точні деталі, планувальні рішення та відповідні примітки, що відображає добре організований підхід до управління та використання геопросторових даних у міському плануванні й розвитку, який узгоджений із сучасними ІТ-системами та технологіями.

Закон України «Про Державний земельний кадастр» детермінує правові, економічні та організаційні засади ведення Державного земельного кадастру в Україні – визначення, принципи та процеси, пов'язані з управлінням та регулюванням земельних ресурсів. Закон підкреслює важливість точного та повного обліку земельних ресурсів і встановлює рамки для ведення та доступу до цих записів, зокрема:

- **Визначення та сфера застосування** – роз'яснення термінів та сфери застосування Державного земельного кадастру;

- **Принципи та цілі** – основоположні принципів та цілі функціонування кадастру;
- **Управління та адміністрування** – структура та обов’язки органів управління та адміністрування;
- **Дані та ведення обліку** – визначення типів даних, що підлягають включенню, методів збору, обробки та ведення даних;
- **Доступ та використання** – регулювання доступу до кадастрової інформації та визначення правової бази для її використання і поширення.

Досліджений документ окреслює принципи управління земельними ресурсами в Україні, забезпечуючи правову ясність і сприяючи ефективному землекористуванню та плануванню [60].

Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» визначає правові основи топографо-геодезичної і картографічної діяльності в Україні:

- **Визначення та сфера застосування** – роз’яснення термінів та сфери діяльності в цих галузях;
- **Регулювання та нагляд** – роль державних органів у регулюванні, нагляді та проведенні топографо-геодезичних і картографічних робіт;
- **Управління даними та інформацією** – настанови щодо створення, управління та поширення геопросторових даних;
- **Стандарти та контроль якості** – стандарти і процедури для забезпечення якості геодезичної та картографічної продукції;
- **Професійна сертифікація** – положення щодо сертифікації та регулювання діяльності фахівців у цих галузях;
- **Міжнародне співробітництво** – засади міжнародного співробітництва та дотримання міжнародних стандартів.

Закон передбачає комплексну структуру управління геопросторовою інформацією, забезпечення якості та точності в суміжних галузях [61].

Документ Закон України «Про основи містобудування» забезпечує комплексну правову базу для містобудівної діяльності в Україні, зокрема:

- **Визначення та сферу застосування** – опис містобудівної діяльності;
- **Основні напрямки** – планування та використання територій, архітектурна діяльність, розробка та реалізація містобудівної документації;
- **Нормативно-правова база** – ролі різних державних органів у містобудуванні;
- **Містобудівна документація** – вимоги до підготовки та реалізації містобудівної документації;
- **Об'єкти та суб'єкти містобудування** – опис структури містобудівної діяльності та визначення ключових зацікавлених сторін;
- **Будівельні норми і правила** – якісні та кількісні показники для містобудівної діяльності;
- **Зобов'язання** – необхідності дотримання містобудівної документації у всіх видах містобудівної діяльності.

Закон забезпечує сталий розвиток міст, збалансовуючи державні, громадські та приватні інтереси [111].

1.3. Опрацювання новітніх потреб інформаційних технологій і інструментальних засобів просторового планування у проєктах будівництва і ревіталізації територій

Дует вчених Guo, N., & Liao, T. з Xi'an University of Architecture and Technology, досліджуючи питання застосування BIM-технології в будівельних

проектах зробили ряд висновків, зокрема щодо визначення технології моделювання інформації про будівлю, яка є революційним підходом у галузі будівництва, який змінює традиційні методи проектування та управління будівельними проектами. BIM забезпечує багатовимірне моделювання будівельних об'єктів, що включають геометрію, просторові відносини, системи географічної інформації, а також характеристики та кількість різних компонентів будівлі [62].

BIM використовується для створення цифрових представлень фізичних та функціональних характеристик будівлі, що дозволяє архітекторам, інженерам та будівельникам краще розуміти всі аспекти проектування, будівництва та експлуатації об'єктів. Використання BIM сприяє підвищенню точності планування, оптимізації будівельних схем та посиленню контролю процесів [62].

BIM дозволяє проводити детальний аналіз енергоефективності будівель, що включає моделювання енергетичних потреб, оцінку впливу різних матеріалів та технологій на загальну енергоефективність. Подібний підхід, що допомагає знизити енергетичні витрати та підвищити екологічну стійкість будівель описують вчені Hanko M. та Ďubek M. з Slovak University of Technology in Bratislava [63].

Польській дослідник Sumlet W. зазначає, що BIM технологія використовується для планування графіків будівництва, управління ресурсами та відстеження прогресу проектів, що дозволяє керівникам проектів ефективно та комплексно координувати роботу, мінімізувати затримки та знижувати витрати і сприяє підвищенню якості проектів й ефективності будівництва [64].

BIM може використовуватися для аналізу безпеки на будівельних майданчиках, включаючи виявлення потенційних ризиків та планування заходів безпеки. Так, наприклад, вчені Tran S., Lee D.-Y., Bao Q. L., Yoo T., Khan M., Jo J. та Park, C. Використали технології комп'ютерного зору та 4D BIM-базованого

просторово-часового аналізу для виявлення вторгнень у небезпечні зони на будівельних майданчиках [65].

Відповідно до дослідження Ustinovichius L., Peckienė A. та Popov V., BIM також може використовуватися для територіального планування, встановлення вимог до місця будівництва та будівель, що будуються в межах його меж задля більш раціонального та ефективного виконання процесів планування місця та будівлі [66].

Колектив вчених Wang Y. J., Li R., Yang Z., Tan Z. та Xu Z. визначили, що інтеграція BIM з іншими технологіями, такими як GIS, може значно підвищити ефективність планування. Наприклад, Zhao L., Liu Z. та Mbachu J. в межах свого дослідження використали інтегрований BIM-GIS метод для планування систем водопостачання, що дозволив краще розуміти проєкт та його оточення, виявляти помилки у процесі планування та сприяти сталому розвитку [67 ; 68]. Науковці Yusof N., Mohd Ishak S. S. та Doheim R. основними викликами при впровадженні BIM визначають потреби в сумісності різних систем, а також навчання та адаптацію персоналу [69].

Таким чином, BIM технології відіграють ключову роль у сучасному просторовому плануванні, забезпечуючи більш точне та ефективне проєктування, будівництво та експлуатацію будівель. Інтеграція BIM з іншими технологіями відкриває нові можливості для підвищення ефективності та якості проєктів, проте, водночас, також створює перед фахівцями нові виклики, пов'язані з технічною сумісністю та потребою в навчанні персоналу.

Географічні інформаційні системи (GIS) відіграють важливу роль у просторовому плануванні, надаючи потужні інструменти для аналізу та візуалізації геопросторових даних, вони дозволяють фахівцям здійснювати комплексний аналіз землекористування, оцінювати вплив на навколишнє середовище, планувати транспортні мережі та інші аспекти, які впливають на розвиток та ревіталізацію міських та сільських територій.

Вчені Koski C., Rönneberg M., Kettunen P., Eliassen S. Q., Hansen H. S. та Oksanen J. зазначають, що GIS використовується в морському просторовому плануванні (MSP) для управління просторовими даними в колаборативних семінарах, що залучають учасників з різними експертизами. Наприклад, система Baltic Explorer демонструє, як функціональність GIS може підтримувати та сприяти дискусіям у спільній роботі [98].

GIS також використовується для планування туризму, зокрема в прибережних районах. Колектив науковців Munro J., Kobryn H., Palmer D., Bauley S. та Moore, S. описує залучення громадськості до участі в географічних інформаційних системах (PPGIS), що дозволяє документувати просторово-експліцитні дані про цінності місць, активності та переваги розвитку [71].

Водночас, вчені Stelzenmüller V., Gimpel A., Gopnik M. та Gee, K. зазначають, що GIS може бути використаний для вибору місць для аквакультури, де він допомагає у визначенні оптимальних місць для розміщення аквакультурних об'єктів, враховуючи екологічні, соціальні та економічні фактори [72].

Baldwin, K. та Mahon, R. – дует вчених з University of the West Indies, – зафіксували, що GIS є чудовим інструментом для залучення громадськості в процеси морського просторового планування, де він допомагає враховувати місцеві знання та інформацію [73]. GIS використовується для підтримки прийняття рішень у контексті просторового планування та управління навколишнім середовищем, зокрема, вчені Bunch M., Kumaran T. та Joseph R. практично використовують GIS в Індії, де він допомагає вирішувати проблеми, пов'язані з доступом до даних та політичною економією інформації [74].

GIS також застосовується для планування, моніторингу та прийняття рішень місцевими управліннями охорони здоров'я, наприклад, у Бангладеші колектив вчених Robin T. A., Khan M., Kabir N., Rahaman S. T., Karim A.,

Mannan I., George J. та Rashid I. використав GIS для означеної задачі, що дозволило визначати пріоритетні об'єднання та моніторити результати [75].

Відповідно до досліджень Bansal V. K., GIS для представлення інформації, заснованої на місцезнаходженні, існуючих та планованих об'єктів у кампусному просторовому плануванні, – допомагає управляти атрибутами, моделювати топографію та враховувати взаємодію з навколишнім середовищем [76]. GIS з врахування місцевих та просторових аспектів у процесі будівельного планування надає можливість проводити аналіз, заснований на місцезнаходженні, моделювати обмеження місця та проводити просторовий та не просторовий аналіз на єдиній платформі [77].

Отже, GIS системи є незамінними інструментами у просторовому плануванні. Вони забезпечують комплексний аналіз та візуалізацію геопросторових даних для різних застосувань, від морського планування до управління охороною здоров'я. GIS допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень, залучаючи громадськість та враховуючи місцеві знання та інформацію.

Роль BIM у будівництві та ревіталізації можна розглядати через ключові аспекти, які впливають на ефективність проектування, виконання та управління будівельними проектами.

Колектив вчених у складі Oraee M., Hosseini M. R., Edwards D. J. та Papadonikolaki E. зазначають, що BIM–технології сприяють більш ефективній координації між різними учасниками проекту. Використання загальної моделі будівлі дозволяє архітекторам, інженерам, підрядникам та іншим фахівцям ефективно співпрацювати, мінімізуючи ризик помилок та непорозумінь задля більш стабільного ходу будівельного процесу та зниження загальних витрат на проектування й будівництво [78].

Дослідники Abdel-Tawab M., Kineber A. F., Chileshe N., Abanda H., Ali A. H. та Almkhtar A. в той же час визначають, що BIM дозволяє точніше планувати та відслідковувати використання матеріалів та ресурсів протягом

усього життєвого циклу проєкту. Точність планування дозволяє знизити відходи та оптимізувати закупівлі, що є важливим фактором у контексті сталого розвитку та зменшення впливу будівництва на навколишнє середовище [79].

Вчені Zhong B., Wu H., Li H., Sepasgozar S. M., Luo H. та He L. Під час дослідження BIM зафіксували зниження ризиків, пов'язаних з будівництвом, завдяки більш детальному плануванню та аналізу. Проєктні помилки можуть бути виявлені та виправлені на ранніх стадіях, що знижує ризик дороговартісних змін та затримок на пізніших стадіях [80].

BIM дозволяє виконувати більш точне моделювання будівельних процесів, що може підвищити якість кінцевого продукту. Науковці Sun C., Xu H., Wan D. Y. та Li Y. Наголошують, що завдяки більш точному проєктуванню, кращому розумінню матеріалів та процесів, якість будівництва може бути значно покращена [81].

Колективи вчених, зокрема: 1) Tilson D., Lyytinen K. J. та Sørensen C.; 2) Herzog O., Jarke M. та Wu S. Z.; 3) Holmström J., Singh V. та Främpling K. досліджували теоретичну основу моделі стадій зростання Нолана (Nolan's Stages-of-Growth Model) і CMMI, що дозволило комплексно описати стадії еволюції інформаційно системи [82 ; 83]. BIM є продуктом поєднання нових ІТ-технологій та сучасної будівельної індустрії. BIM також слідує моделі Нолана – моделі зрілості ІТ у застосуванні та майбутньому розвитку життєвого циклу проєкту [84]. Тому для застосування BIM доцільно розділити BIM на чотири рівні зрілості: нездійсненність, дискретність, інтеграція та зрілість, як показано на рис.1.8:

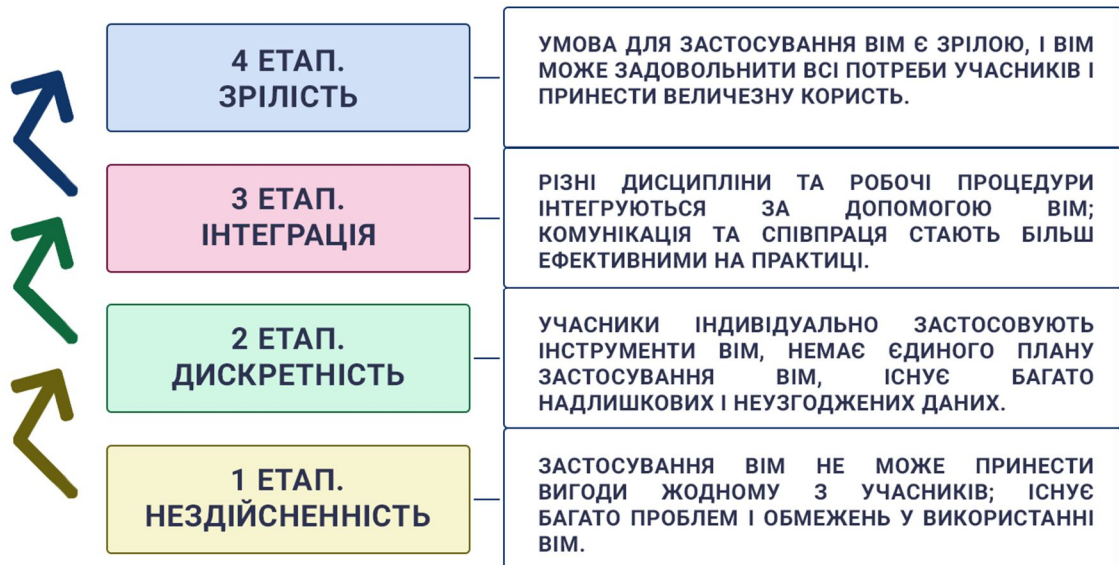


Рис 1.8. Рівні зрілості ВІМ

Етап 1: Нездійсненність. На цьому етапі існує багато обмежувальних факторів, які перешкоджають застосуванню BIM. Наприклад, учасники можуть лише чути про концепцію BIM, не використовуючи інструменти BIM в реальних будівельних проєктах. Якщо попередня оцінка проєкту показує, що проєкт знаходиться на першому етапі, – це означає, що проєкт не має умов для застосування BIM.

Етап 2: Дискретність. На цьому етапі частина учасників BIM-проєкту використовують BIM-інструменти самостійно, інші ж не використовують BIM-інструменти в рамках однієї і тієї ж структури реалізації BIM. У процесі BIM та співпраці між різними дисциплінами виникають неузгодженості, що призводить до появи надлишкових і помилкових даних.

Етап 3: Інтеграція. Процес реалізації проєкту може бути інтегрований за допомогою різних інструментів BIM як основного бізнес-засобу. Всі учасники проєкту можуть обмінюватися інформацією через програмне забезпечення та платформу BIM, здійснювати ефективну співпрацю та комунікацію, а також прискорювати реалізацію проєкту з точки зору якості та прогресу.

Етап 4: Зрілість. У рамках повної структури реалізації проєкт має чіткий робочий процес впровадження BIM, що дозволяє здійснювати підтримку та оновлення інформації в режимі реального часу; всі учасники мають хороше BIM-мислення та можуть ефективно розподіляти обов'язки, пов'язані з BIM. Водночас, можливості BIM всіх сторін можуть відповідати умовам реалізації BIM-проєктів та реалізувати максимальну цінність BIM.

Колектив вчених Sun C., Xu H., Wan D. Y. Та Li Y. визначають зрілість програмного забезпечення, як ступінь, до якого можуть бути виконані різні вимоги на різних стадіях життєвого циклу проєкту, включаючи відображення зовнішнього вигляду на ранній стадії; проєктування і конфлікти будівель, споруд і трубопроводів на стадії проєктування; управління витратами, ходом

робіт, безпекою і змінами на стадії будівництва; а також саме будівництво, збірне виробництво і обслуговування обладнання на стадії експлуатації [81].

Використання технологій GIS та BIM у просторовому плануванні стало необхідною складовою сучасного процесу розвитку міського середовища і інфраструктури. Основні аспекти їх інтеграції включають визначення оптимальних місць для будівництва, аналіз впливу на навколишнє середовище, планування інфраструктури, та інші аспекти просторового розвитку.

Вчені Sisman S., Ergul I. та Aydinoglu A. C. визначають оптимальне місце для будівництва завдяки інтеграції BIM та GIS, що дозволяє аналізувати великі масиви просторових даних для визначення найкращих місць для будівництва, включаючи такі фактори, як доступність, віддаленість від ключових інфраструктур, рельєф місцевості та інші екологічні умови [85].

Аналізом впливу на навколишнє середовище займалися дослідники Peng Y., Liu J., Zhang T. та Li, X, що зафіксували зростання глибокого розуміння впливу будівельних проєктів на навколишнє середовище, включно з оцінкою впливу забудови на місцеву флору та фауну, водні ресурси, а також мікроклімат [86].

Планування інфраструктури відповідно до дослідження науковців Subedi R., Chou E. Y. Та Williams A. може бути реалізоване з використанням інтегрованих інструментів BIM та GIS, дозволяючи визначати найбільш ефективні шляхи для доріг, транспортних ліній, а також місця для розташування громадських об'єктів, таких як школи, лікарні та парки [87].

Просторовий розвиток та урбаністика закріплюються в дослідженні колективу вчених Hu B., Yuan K., Niu T., Zhang L. та Guan, Y., що допомагає урбаністам та планувальникам визначати тенденції та закономірності в міському розвитку, дозволяючи краще розуміти, як різні фактори впливають на міське середовище, включно з аналізом змін у забудові, впливу нових проєктів на міську структуру, та оцінку майбутніх потреб у розвитку [88].

Інтеграція інформаційного моделювання будівель та геоінформаційних систем відкриває нові можливості для планування та реалізації будівельних проєктів, особливо у складних сценаріях ревіталізації міського простору.

Комплексний підхід до планування у дослідженні Narindri B. P., Nugroho A. S. та Aminullah A. передбачає поєднання BIM та GIS задля об'єднання детального проєктування будівель з широким аналізом просторових даних. Подібна інтеграція призводить до більш цілісного підходу до планування, що дозволяє ефективніше враховувати як мікрофактори (будівельні елементи, матеріали), так і макрофактори (навколишнє середовище, інфраструктура) у своїх проєктах [89].

Посилення міждисциплінарної співпраці під час поєднання BIM та GIS полегшує взаємодію між учасниками BIM-проєкту та іншими зацікавленими сторонами. Відповідно до дослідження Wan W. N., Basir A., Ujang U., Majid Z., Azri S. та Choon T. L., подібна інтеграція дозволяє ефективніше співпрацювати, обмінюватися даними та координувати зусилля, сприяючи більш гармонійному та збалансованому розвитку міських просторів [90].

Дует вчених Al-Saggaf A. I. та Jrade A. визначає закономірність підвищення ефективності та зниження ризиків, що виникає внаслідок інтеграції BIM та GIS й допомагає виявити потенційні проблеми на ранніх стадіях проєктування, зменшити ризики та потенційно призвести до значної економії коштів. Такий підхід дозволяє більш детально оцінити вплив проєкту на міське середовище та оптимізувати його з урахуванням різних факторів [91].

Удосконалення процесів ревіталізації при інтеграції цих технологій особливо важливе для проєктів міського простору, де необхідно враховувати історичні, соціальні, екологічні та інфраструктурні аспекти. Дослідники Saccucci M. та Pelliccio A. зазначають, що поєднання детального архітектурного планування з ширшим контекстом міського середовища призводить до створення більш життєздатних і сталих просторів [92].

Інтеграція BIM і GIS з передовими технологіями, такими як штучний інтелект (AI), інтернету речей (IoT), великими даними (Big Data), дронами, та цифровими двійниками (Digital Twins) відкриває захоплюючі перспективи у сфері будівництва та урбаністики.

Штучний інтелект може аналізувати великі обсяги даних з BIM і GIS, пропонуючи оптимізації дизайну, прогнозування проблем будівництва та рішення для ефективного управління ресурсами. Вчений Zhang L. зазначає, що використання AI для автоматичного виявлення та вирішення конфліктів у проєктах може значно знижувати ризики та покращувати прийняття рішень [93].

IoT інтегрується з BIM та GIS для збору даних у реальному часі від датчиків, розміщених на будівельних майданчиках, дозволяючи моніторити стан конструкцій, відслідковувати використання матеріалів та визначати неефективні аспекти робочих процесів. Таким чином, IoT сприяє підвищенню ефективності та безпеки на будівельних майданчиках.

Великі дані забезпечують більш глибокий аналіз і прогнозування, інтегруючи інформацію з BIM і GIS для розробки більш точних моделей поведінки будівельних матеріалів, енергетичної ефективності та інших критичних факторів. Вони також допомагають в аналізі трендів розвитку міського середовища та в плануванні інфраструктури.

Колектив вчених Maebayashi A., Nakata K., Showa N. та Takada, T. наголошують на тому, що дрони стають все більш цінним інструментом для збору даних, особливо в складних або важкодоступних районах, що допомагає швидше збирати візуальні та термографічні зображення, які потім інтегруються в BIM і GIS для точного моделювання та аналізу будівельних об'єктів [95].

Два колективи дослідників: Tita E. E., Watanabe G., Shao P. та Arii K. і Chernyshev D., Dolhopolov S., Honcharenko T., Haman H., Ivanova T. та Zinchenko M. займалися дослідженням цифрових двійників (Digital Twin) та прийшли до

висновків, що цифрові двійники стають ключовою технологією у будівництві та управлінні міськими активами, дозволяючи створювати детальні віртуальні копії будівель та інфраструктури, що можуть бути використані для моніторингу, управління, та оптимізації експлуатаційних процесів – підвищити ефективність управління активами та сприяти сталому розвитку [96, 112].

Завдання застосування технології інформаційного моделювання групуються залежно від п'яти основних видів робіт з інформацією:

- 1) збір інформації (табл. 1.1);
- 2) формування інформації (табл. 1.2);
- 3) аналіз інформації (табл. 1.3);
- 4) обмін інформацією (табл. 1.4);
- 5) втілення інформації (табл. 1.5).

У свою чергу, ці 5 видів робіт поділяються ще на 18 підвидів.

Таблиця 1.1. Класифікація завдань застосування ТІМ зі збору інформації

№	Вид роботи з інформацією	Призначення та опис
1	Збір інформації	Відбувається збір, структурування та систематизація інформації про цифрову інформаційну модель та її елементи, включно з введенням даних, підрахунком, контролем, ідентифікацією даних без аналізу та змін для подальшого планування й управління функціонуванням.
1.1	Введення даних	Збір і запис поточного стану об'єкта та його елементів для подальшого опрацювання та використання, включно з даними про ділянки та умови об'єкта перед його зміною.
1.2	Підрахунок даних	Вимірювання характеристик об'єктів використовується для підрахунку конструкцій, обсягів робіт і оцінки витрат в інвестиційно-будівельних проектах.
1.3	Контроль даних	Збирання інформації про елементи і системи об'єкта для контролю і моніторингу, що застосовується під час експлуатації, будівництва та проектування.
1.4	Ідентифікація даних	Опис та ідентифікація стану елементів об'єкта використовуються для постійного відстеження їхнього стану на різних етапах, включно з проектуванням, будівництвом та експлуатацією.

Таблиця 1.2. Класифікація завдань застосування ТІМ з формування інформації

№	Вид роботи з інформацією	Призначення та опис
2	Формування інформації	Розроблення, створення та моделювання інформації про об'єкт будівництва включає призначення, розміщення та визначення розмірів елементів об'єкта, за участю різних учасників проекту на різних етапах, починаючи з проектування і закінчуючи експлуатацією.
2.1	Призначення елементів	Визначення потреби та вибір конкретних елементів об'єкта, необхідних для розміщення розробниками інформації, такими як технологи, архітектори, інженери, підрядники та керівники проекту.
2.2	Розміщення елементів	Визначення координат і розташування елементів об'єкта, використовується на всіх етапах, від планування приміщень до розміщення меблів.
2.3	Визначення розмірів	Визначення розмірів і масштабу елементів об'єкта важливе під час проектування, будівництва та експлуатації, охоплюючи приміщення, конструкції та запасні частини.

Таблиця 1.3. Класифікація завдань застосування ТІМ аналізу інформації

№	Вид роботи з інформацією	Призначення та опис
3	Аналіз інформації	Аналіз даних охоплює вивчення й оцінювання елементів об'єкта, перетворення їх на аналітичні висновки, що особливо корисно під час додаткового аналізу даних під час ухвалення рішень, включно з координацією, симуляцією та валідацією даних.
3.1	Координація даних	Цей вид аналізу гарантує точну взаємодію елементів об'єкта для досягнення його ефективності та відповідності стандартам на всіх етапах, включно з проєктуванням, будівництвом і ремонтними роботами.
3.2	Симуляція різноманітних процесів	Прогнозування майбутньої роботи об'єкта та його елементів враховує фінансові, енергетичні, поточкові, сценарні та тимчасові чинники, включно з вартістю, енергоспоживанням, потоками та надзвичайними ситуаціями, для оцінювання ефективності та термінів заміни елементів.
3.3	Валідація даних	Перевірка даних на відповідність вимогам, узгодження інформації та підтвердження її точності й логічності використовуються для забезпечення безпечної експлуатації об'єкта та відповідності вимогам.

Таблиця 1.4. Класифікація завдань застосування ТІМ з обміну інформацією

№	Вид роботи з інформацією	Призначення та опис
4	Обмін інформацією	Інформаційне моделювання забезпечує ефективний обмін даними про об'єкт, покращуючи взаємодію і скорочуючи час передачі інформації.
4.1	Візуалізація даних	Візуалізація об'єктів та їхніх елементів створює реалістичні уявлення для аналізу, ухвалення рішень і маркетингових цілей, включно з графікою та моделюванням.
4.2	Перетворення даних	Перетворення інформації для взаємодії між системами та передавання для подальшого використання.
4.3	Схематизація даних	Створення схематичного представлення об'єкта і його елементів покращує можливості розроблення креслень, роблячи процес динамічним і автоматично поновлюваним у разі змін у моделі.
4.4	Документування	Документування об'єкта включає запис необхідної інформації для точного визначення його елементів, створення текстових або табличних записів, включно зі специфікаціями, технічною документацією та графікою.

Таблиця 1.5. Класифікація завдань застосування ТІМ з реалізації інформації

№	Вид роботи з інформацією	Призначення та опис
5	Реалізація інформації	Створення та управління фізичним об'єктом з використанням інформації автоматизує процеси розроблення, монтажу, контролю та регулювання, що може поліпшити продуктивність будівництва та експлуатації об'єктів.
5.1	Цифрове виробництво виробів	Інформація про об'єкт застосовується для автоматизованого виготовлення його компонентів, включно зі сталевими профілями, повітропроводами та прототипами через ЧПУ і 3D-друк.
5.2	Монтаж збірних конструкцій	Інформація про об'єкт використовується для віртуальної збірки роздільних елементів, як у випадку з навісними фасадами.
5.3	Керування будівельною технікою	Інформація про об'єкт використовується для управління будівельною технікою в процесах фізичної роботи.
5.4	Регулювання інженерних систем	Використання інформації про об'єкт під час його експлуатації дає змогу оптимізувати операції, як-от регулювання опалення, завдяки інтеграції даних в інтелектуальні системи моніторингу для ухвалення обґрунтованих рішень.

Рівнем деталізації (LOD) елементів моделі слід встановлювати мінімально необхідний обсяг геометричних, а також будь-яких атрибутивних даних, необхідних для вирішення завдань застосування інформаційного моделювання на певному етапі життєвого циклу об'єкта будівництва.

Науковець Haddock A. в роботі [107] класифікує систему рівнів деталізації, як таку, що включає п'ять базових рівнів деталізації: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500, які характеризують процес розробки елемента від концептуального до стану завершеного будівництва об'єкта. Вимоги до рівнів деталізації мають уточнюючий характер, тобто визначення кожного наступного рівня деталізації елемента уточнює та доповнює визначення всіх попередніх рівнів. Цифрова інформаційна модель може містити елементи на різних рівнях деталізації [107].

LOD 100 – Концептуальне проєктування. Елемент може бути представлений символом або схожим узагальненим зображенням. Інші елементи Моделі можуть надавати інформацію про цей елемент. Будь-яка інформація, отримана з елементів LOD 100, має використовуватися обережно.

LOD 200 – Ескізне проєктування. Елемент представлений як узагальнена система, предмет або збірка з приблизними кількостями, розмірами, формою, розташуванням та орієнтацією. Будь-яка інформація, отримана з елементів LOD 200, вважається приблизною.

LOD 300 – Детальне проєктування. Елемент графічно представлений як конкретна система, об'єкт або збірка з точним визначенням орієнтації, розташування, форми, розмірів та кількості. До елемента також може бути прикріплена неграфічна інформація. Визначено початкову точку проєкту, і елемент точно розміщений відносно неї.

LOD 400 – Виготовлення та збірка. Елемент представлений як конкретна система, об'єкт або збірка з деталями, інформацією про виготовлення, збірку та монтаж. До елемента Моделі також може бути прикріплена неграфічна інформація.

LOD 500 – Збудовано. LOD 500 представляє елемент як перевірене на місцевості відображення з точними розмірами, формою, розташуванням, кількістю та орієнтацією. До елементів Моделі також може бути прикріплена неграфічна інформація.

Узагальнений опис базових рівнів опрацювання елементів цифрової інформаційної моделі представлений у табл. 1.6.

Таблиця 1.6.

Опис базових рівнів опрацювання елементів цифрової інформаційної моделі

LOD	Опис
LOD 100	Елемент цифрової інформації моделі представлений у вигляді об'ємних формуютьуючих елементів із приблизними розмірами, формою, просторовим розташуванням та орієнтацією, або як двовимірного об'єкта, включаючи необхідну атрибутивну інформацію.
LOD 200	Елемент цифрової інформації моделі представлений як тривимірний об'єкт або збірка із попередніми змінюваними розмірами, формою, просторовим розташуванням, орієнтацією та необхідною атрибутивною інформацією.
LOD 300	Елемент цифрової інформації моделі представлений у вигляді об'єкта або збірки з точними фіксованими розмірами, формою, точним просторовим положенням, орієнтацією та необхідною атрибутивною інформацією.
LOD 400	Елемент цифрової інформації моделі представлений у вигляді конкретної збірки з точними фіксованими розмірами, включаючи розміри елементів вузлових з'єднань, формою, просторовим положенням, орієнтацією, даними щодо виготовлення та монтажу, а також іншою необхідною атрибутивною інформацією.
LOD 500	Елемент цифрової інформації моделі представлений у вигляді конкретної збірки з фактичними розмірами, формою, просторовим положенням, орієнтацією та атрибутивною інформацією, достатньою для передачі моделі в експлуатацію, у тому числі з прикладенням виконавчої документації.

1.4. Виявлення актуальних проблем в задачах, пов'язаних з цифровізацією проєктів будівництва і ревіталізацією територій

Інтеграція географічних інформаційних систем у просторове планування представляє собою значний крок вперед у сфері урбаністики та регіонального розвитку. Колектив вчених Cheng, W., Chu, Y., Xia, C., Zhang, B., Chen, J., Jia, M., & Wang, W визначають, що GIS дозволяє збирати, зберігати, обробляти та візуалізувати геопросторові дані, що є критично важливим для планування та управління міськими та сільськими територіями. Ця технологія забезпечує

точне картографування, аналіз землекористування, оцінку впливу на навколишнє середовище та планування інфраструктури [97].

Досліджуючи інтеграцію GIS у просторове планування, вчені Koski С., Rönneberg М., Kettunen Р., Eliassen S. Q., Hansen Н. S. та Oksanen J. визначили, що подібна інтеграція дозволяє планувальникам краще розуміти та візуалізувати комплексні міські середовища, що сприяє більш ефективному вирішенню міських проблем, таких як транспортне планування, управління земельними ресурсами, розвиток інфраструктури та охорона навколишнього середовища [98]. Також було визначено та узагальнено проблеми, з якими стикаються при використанні існуючих GIS-додатків у вигляді діаграми першопричин, яка показує, як проблеми пов'язані з різними елементами системи (рис. 1.9).

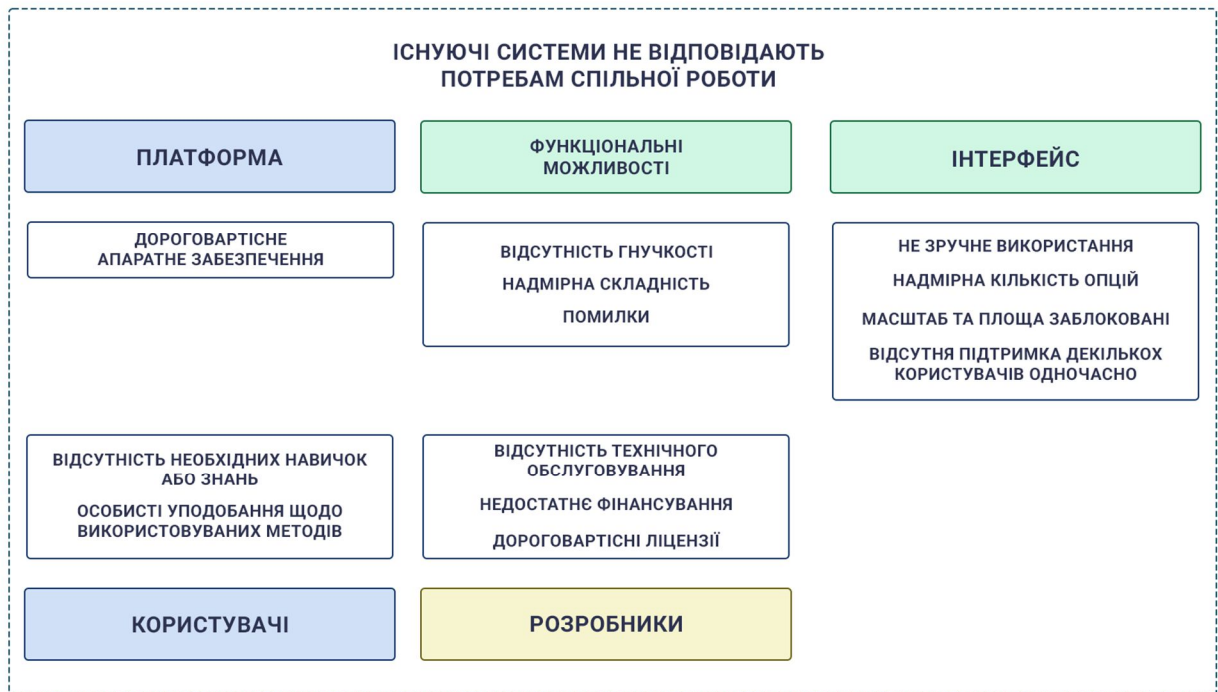


Рис. 1.9. Діаграма першопричин, що візуалізує, як проблеми в існуючих системах пов'язані з різними елементами GIS

Незважаючи на численні переваги, науковці Munro J., Kobryn H. T., Palmer D., Bayley S., Moore S. A., Aps R., Fetissoff M., Kopti M., Duan C., Zhang J., Chen Y., Lang Q., Zhang Y. Wu, C. та Zhang Z. визначають, що інтеграція GIS та BIM у просторове планування стикається з рядом викликів, серед яких необхідність навчання та розвитку навичок серед планувальників, а також вирішення проблем сумісності даних та інтеграції з іншими системами [99 ; 100; 101].

Цифровізація урбаністичних процесів включає в себе не тільки впровадження нових інструментів, але й переосмислення традиційних підходів до планування, що вимагає від спеціалістів кропіткої праці та зміни «менталітету праці», а також адаптації до існуючих регуляторних рамок.

Дослідники Varela E. N., Öhring K. та Moscati A. відзначають зростаючу складність урбаністичного планування, що вимагає врахування соціальних, правових, екологічних та економічних параметрів. Цифровізація, зокрема використання генеративного дизайну, може оптимізувати фазу проектування, автоматично генеруючи просторові рішення та аналізуючи їх на етапі дизайну. Однак, для досягнення цифровізації необхідні інституційні та організаційні зміни [102].

Вчені Csukás, M., Bukovszki, V., & Reith, A. зазначають, що інший прояв цифровізації, а саме перехід до «розумних міст» вимагає від міст впровадження більш інклюзивних, на відміну від наявних підходів до урбаністичного планування. Однак, інвестиції часто не приносять очікуваних результатів через складності, масштабованість та процедурні виклики. Існує потреба в дослідженнях, що підтримують політику на основі практики, особливо в нішах переходу до розумних міст [103].

Використання візуальних та цифрових інструментів у навчанні на основі досліджень відкриває нові можливості для залучення громадян. Науковець Seethaler-Wari S. зазначає, що подібна практика включає мобільну етнографію,

збір даних через додатки та веб-сайти, геопросторовий збір даних та використання відео та рухомих зображень для інтерактивних технологій [104].

Колектив вчених у складі De Siqueira G., Malaj S. та Hamdani M. в межах свого дослідження приходять до висновку, що цифрові технології впливають на підходи в урбаністичному дизайні, що було яскраво виражено під час кризи COVID-19, яка виявила невідповідність та непередбачуваність до викликів стосовно спільних заходів. Цифровізація вдалося захопити увагу численної кількості теоретиків та практиків, що дозволило переосмислити процес спільного проектування [105].

Цифровізація також впливає на дослідження етнічних спільнот мегаполісів, як зазначає вчений Szijártó Z. Соціально-політичні, медійні та культурні зміни останніх десятиліть трансформували феномен міграції у мегаполіси, породжуючи нові питання та проблеми для соціальних науковців, політиків та різних соціальних груп [106].

Таким чином, цифровізація урбаністичних процесів вимагає глибокого переосмислення традиційних підходів до планування та формує перед фахівцями нові виклики, пов'язані з організаційними змінами, навчанням та адаптацією до нових технологій. Однак, цифровізація також відкриває нові можливості для більш інклюзивного та ефективного урбаністичного планування. Традиційні методи міського планування часто виявляються недостатньо ефективними для вирішення сучасних вимог до просторового розвитку. Основні недоліки включають:

- **Обмежена гнучкість.** Традиційні методи зазвичай статичні та не здатні швидко адаптуватися до змін урбаністичних потреб та умов;
- **Відсутність інтеграції даних.** Часто відсутня єдина система, яка б інтегрувала різноманітні дані, включаючи географічні, демографічні, екологічні та інфраструктурні;

- **Неефективне використання ресурсів.** Традиційні підходи можуть призводити до неоптимального використання простору та ресурсів, часто з недостатнім врахуванням стійкості та екологічних аспектів;

- **Відсутність взаємодії з зацікавленими сторонами.** Обмежені можливості для взаємодії з громадськістю та іншими зацікавленими сторонами під час процесу планування.

Застосування BIM і GIS може значно покращити процеси міського планування, роблячи їх більш інтегрованими, гнучкими та ефективними.

- **Покращення гнучкості і адаптивності.** BIM дозволяє створювати детальні 3D моделі будівель та інфраструктури, які можуть бути легко адаптовані та оновлені відповідно до змін урбаністичних потреб;

- **Інтеграція різноманітних даних.** GIS надає можливість інтегрувати просторові дані, такі як топографія, транспортні мережі, доступність послуг тощо, що допомагає в розробці комплексних планів розвитку;

- **Оптимізація використання ресурсів.** Комбінація BIM і GIS дозволяє більш ефективно планувати використання земельних ресурсів, енергії та інших важливих компонентів міського середовища;

- **Поліпшення комунікації із зацікавленими сторонами.** BIM та GIS можуть бути використані для створення інтерактивних та зрозумілих візуалізацій, що полегшує взаємодію з громадськістю та іншими стейкхолдерами;

- **Ефективне врахування екологічних факторів.** Застосування GIS допомагає у врахуванні екологічних аспектів, таких як зони зелених насаджень, водні ресурси та екологічно чутливі зони, в процесі планування.

Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у просторовому розвитку представлено на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у просторовому розвитку

У сучасній будівельній індустрії однією з ключових проблем є потреба в автоматизації для підвищення продуктивності робіт та зниження витрат. Традиційні методи будівництва часто характеризуються наступними проблемами:

- **Низька ефективність.** Ручне планування та управління проєктами може бути часомістким та схильним до помилок;
- **Перевитрати ресурсів.** Неоптимізоване використання матеріалів та ресурсів призводить до зайвих витрат;
- **Затримки у проєктах.** Відсутність автоматизації може спричинити затримки у виконанні проєктів через повільні процеси прийняття рішень та коригування планів;

- **Потенційні помилки.** Ручне введення даних та планування може призводити до помилок, що впливають на якість та безпеку будівельних проєктів.

ВІМ надає вирішення цих проблем, пропонуючи наступні можливості:

- **Автоматизоване планування та моделювання.** ВІМ дозволяє створювати детальні цифрові моделі будівельних об'єктів, автоматизуючи багато аспектів планування та дизайну, що зменшує час на проєктування та підвищує точність планів;

- **Оптимізація використання ресурсів.** За допомогою ВІМ можна точно визначити кількість необхідних матеріалів, що дозволяє знизити відходи та оптимізувати логістику;

- **Прискорення процесів прийняття рішень.** Інтегроване середовище ВІМ забезпечує швидкий доступ до інформації та полегшує співпрацю між учасниками проєкту, що прискорює процеси прийняття рішень;

- **Зменшення ризику помилок.** Автоматизація та централізоване управління даними знижують ризик людських помилок;

- **Покращення комунікації між учасниками проєкту.** ВІМ сприяє кращій координації між учасниками ВІМ-проєкту та зацікавленими сторонами, підвищуючи загальну ефективність проєкту;

- **Візуалізація та аналіз.** ВІМ дозволяє візуалізувати будівельні процеси та аналізувати можливі проблеми до початку будівництва, що допомагає уникнути помилок та затримок.

Систематизація можливих вирішень сучасних проблем автоматизації для підвищення продуктивності робіт та зниження витрат представлено на рис. 1.11.



Рис. 1.11. Систематизація можливих вирішень сучасних проблем автоматизації для підвищення продуктивності робіт та зниження витрат

У сучасному світі енергетична ефективність та стійкість будівель стають все більш важливими через наступні фактори:

- **Зростання екологічної свідомості.** Суспільство стає все більш усвідомленим щодо впливу будівництва на навколишнє середовище;
- **Підвищені регуляторні вимоги.** Уряди по всьому світу встановлюють більш суворі стандарти енергоефективності для зменшення вуглецевого сліду;
- **Зростаючі витрати на енергоресурси.** Підвищення цін на енергію спонукає до пошуку способів зниження енергетичних витрат;
- **Очікування замовників.** Інвестори та власники будівель шукають способи підвищити енергетичну ефективність для зниження експлуатаційних витрат та збільшення вартості майна.

ВІМ надає ефективні інструменти для вирішення цих викликів:

- **Детальний енергетичний аналіз.** ВІМ дозволяє проводити ретельний аналіз енергетичної ефективності будівель ще на стадії проєктування, що включає моделювання теплових навантажень, освітлення, вентиляції, та інших факторів, які впливають на енергоспоживання;
- **Оптимізація дизайну для енергоефективності.** Використання ВІМ дозволяє учасникам ВІМ-проєкту оптимізувати дизайн будівель для максимальної енергоефективності, включаючи орієнтацію будівлі, ізоляцію, вибір матеріалів тощо;
- **Інтеграція відновлюваних джерел енергії.** ВІМ може бути використаний для планування та інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни у дизайн будівель;
- **Використання стійких матеріалів.** ВІМ допомагає вибирати екологічно чисті та стійкі матеріали, що сприяє зниженню вуглецевого сліду будівель;
- **Візуалізація та презентація.** ВІМ надає засоби для наочного представлення енергетичних характеристик будівлі замовникам та іншим зацікавленим сторонам;
- **Покращення управління будівництвом.** Використання ВІМ у процесі будівництва дозволяє більш ефективно координувати роботу та забезпечувати дотримання енергетичних стандартів.

Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у енергетичній ефективності та стійкості будівель представлено на рис. 1.12.

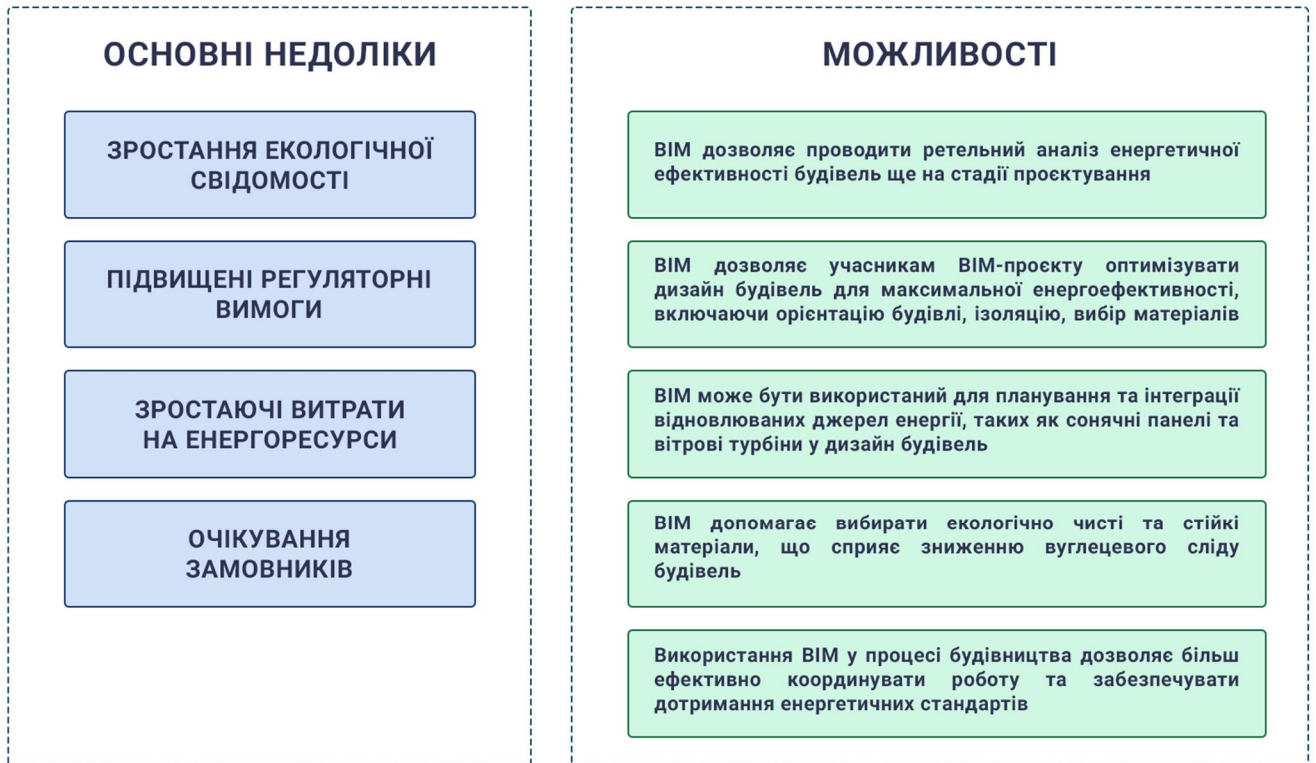


Рис. 1.12. Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у енергетичній ефективності та стійкості будівель

Сучасні будівельні проєкти характеризуються великим обсягом даних, які включають архітектурні плани, інженерні розрахунки, матеріали, вимоги до енергоефективності, інформацію про виконавців робіт та багато іншого. Ефективне управління та аналіз цих даних є важливим для успішної реалізації проєктів.

Таким чином, основні виклики включають:

- **Складність координації.** Узгодження роботи різних команд та спеціалістів, що працюють над проєктом може мати складності під час координації дій;
- **Ризик помилок при обробці даних.** Ручне введення та обробка даних може призвести до помилок та похибок;

- **Виклики у зберіганні та доступі до даних.** Централізоване зберігання та легкий доступ до актуальної інформації є ключовими для ефективної роботи;

- **Забезпечення актуальності даних.** Існує необхідність постійного оновлення даних, щоб вони відображали реальний стан проєкту.

ВІМ надає комплексне рішення для вирішення цих викликів:

- **Централізоване управління даними.** ВІМ дозволяє об'єднувати всі дані проєкту в одній централізованій системі, що полегшує доступ до інформації та її обробку;

- **Зниження ризику помилок.** Автоматизоване управління даними зменшує людський фактор та пов'язані з ним помилки. ВІМ-платформи часто мають функції для перевірки даних на предмет помилок та неузгодженостей;

- **Поліпшення координації та співпраці.** ВІМ сприяє ефективній співпраці між усіма учасниками проєкту, від архітекторів до будівельників, оскільки всі мають доступ до однакової інформації.

- **Візуалізація та аналіз даних.** ВІМ надає інструменти для візуалізації проєкту, що дозволяє краще розуміти та аналізувати доступні дані;

- **Гнучкість та масштабованість.** Системи ВІМ здатні обробляти великі обсяги даних та масштабуватися залежно від потреб проєкту;

- **Підтримка прийняття рішень.** Аналітичні здібності ВІМ дозволяють керівникам проєктів та іншим зацікавленим сторонам приймати обґрунтовані рішення на основі актуальних даних.

Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у ефективному управлінні та аналіз великих даних представлено на рис. 1.13.



Рис. 1.13. Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у ефективному управлінні та аналіз великих даних

У традиційних будівельних проєктах існує значна проблема з недостатньою прозорістю та ефективною співпрацею між різними зацікавленими сторонами, такими як архітектори, інженери, підрядники та клієнти, що призводить до наступних проблем:

- **Комунікаційні бар'єри.** Відсутність єдиної платформи для обміну інформацією може призвести до непорозумінь та затримок;
- **Неефективний обмін даними.** Різні формати документів та системи управління даними можуть ускладнювати обмін інформацією;
- **Затримки в проєктуванні та виконанні.** Недоліки у комунікації та співпраці можуть призводити до затримок у вирішенні критичних питань проєкту;

- **Недостатня узгодженість та синхронізація.** Відсутність єдиної системи для відстеження змін може призвести до конфліктів у проєктних рішеннях.

Використання BIM може вирішити ці проблеми, пропонуючи такі переваги:

- **Централізована платформа для обміну даними.** BIM дозволяє всім учасникам проєкту працювати з єдиною інформаційною моделлю, що значно покращує комунікацію та обмін даними;

- **Реальний час оновлення інформації.** Зміни у проєкті відображаються в реальному часі, тому всі учасники мають доступ до останніх даних, що знижує ризик непорозумінь та помилок;

- **Візуалізація для кращого розуміння проєкту.** BIM надає потужні інструменти візуалізації, які допомагають учасникам проєкту краще розуміти дизайн та вимоги до будівництва;

- **Покращене управління змінами.** BIM полегшує відстеження та управління змінами в проєкті, забезпечуючи високий рівень узгодженості між різними етапами роботи;

- **Поліпшення взаємодії між учасниками.** BIM сприяє більш тісній та ефективній співпраці між різними групами учасників BIM-проєкту, що покращує загальну координацію проєкту;

- **Підвищення задоволення клієнтів.** Завдяки BIM клієнти мають більш прозорий вигляд процесу розробки та реалізації проєкту, що підвищує довіру та задоволення.

Систематизація можливих вирішень сучасних проблем у прозорості та ефективній співпраці між різними зацікавленими сторонами представлено на рис. 1.14.



Рис. 1.14. Систематизація можливостей для подолання основних недоліків

1.5. Наукова гіпотеза і постановка проблеми дослідження

За підсумками проведеного аналізу інформаційних джерел систематизовані компоненти інформаційних технологій і систем, які відповідають потребам формалізованого моделювання територіального простору та сучасним директивним вимогам. Сформована структура інформаційного забезпечення розробки проектів просторового планування в проєктах будівництва (рис.1.15)

Визначено, що основою інформаційного забезпечення просторового планування проєктів будівництва та створення наборів базових первинних даних для є бази топографічних даних, відомості Державного земельного кадастру, Державного адресного реєстру, містобудівного кадастру кадастрів природних ресурсів, інших інформаційних ресурсів.

До тематичних наборів просторових та атрибутивних даних належать всі види просторових даних, що створюються на основі базових даних або як самостійні набори даних і відповідають вимогам стандартів на географічну інформацію та метадані, розміщені в інформаційному середовищі інфраструктури з дотриманням принципів і правил доступу та використання геоінформаційних ресурсів. Такі набори можуть створюватися органами державної влади та місцевого самоврядування, підприємствами та користувачами.

Інформаційне забезпечення просторового планування проєктів будівництва		Картографічні шари просторових даних у цифровому вигляді
Етап 1. Оцінка поточної ситуації і передумов проєкту будівництва	Існуюче використання території та виявлення передумов для її розвитку	
	Поточний стан і передумови для розвитку транспортних послуг на території	
	Поточний стан і передумови для інженерного забезпечення території	
	Комплексний план розвитку території	
Етап 2. Проектні пропозиції планувальних рішень	План архітектурно-планувальної організації проєкту будівництва або ревіталізації території	
	Ландшафтне планування та транспортне забезпечення території	
	Інженерне забезпечення планованої території	
	Територіально-планувальне рішення в урбанізованому просторі	
	Пропозиції щодо ревіталізації, збереження, розвитку та обмеження використання земельних ділянок у зонах з особливими умовами використання	

Рис. 1.15. Інформаційне забезпечення просторового планування проєктів будівництва

Результати проведеного аналізу інформаційних джерел дозволяють стверджувати, що на поточний момент відсутня методологія, яка в межах суттєво вдосконаленого аналітичного базису та інформаційної технології дозволить в єдиному цифровому просторі прийняття рішень успішно здійснювати зміни, коригування та раціоналізацію характеристик об'єктів територіального планування, забудови та ревіталізації, починаючи з розгляду первинних даних проєкту.

Виникає потреба запровадити методологію і супровідні до неї інформаційну технологію та комплекс прикладних програм, які мають надати інституційним учасникам будівельного проєкту: замовнику, інвестору, девелоперу та генеральному проєктувальнику можливості діджитал-адаптованого інструментарію для відслідковування змін протягом життєвого циклу проєкту будівництва. Прикладні можливості створеної методології та інформаційно-аналітичного комплексу мають розширити можливості наявної BIM-технології у такий спосіб, щоб забезпечити щільний цифровий зв'язок між просторовими характеристиками об'єктів територіального планування та їх цифровими індикаторами як складових проєкту в затвердженій геоінформаційній, архітектурно-конструктивній та проєктно-кошторисній документації. Це надасть керівному складу проєктів на державному, регіональному та місцевому рівнях спроможність успішного управління змінами в процесі вирішення задач просторового планування.

Ще одна науково-прикладна проблема відповідає актуальним потребам просторового планування, зміст якої полягає в інтеграції сучасних інформаційних технологій для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів. Вирішення такої проблеми буде сприяти

розвитку інформаційного забезпечення міського простору та сприятиме розробці інформаційної системи «Розумне місто».

Український ринок цифрових двійників в будівельній галузі на даний час тільки формується, тому це дослідження має особливу **актуальність, враховуючі нагальні потреби у відбудові країни.**

Основна наукова гіпотеза дослідження полягає у тому, що сукупне та синергійне використання методологічних компонентів формування єдиного інформаційного середовища забезпечить розширення можливостей BIM-технології для просторового планування та ревіталізації територій. Це дозволить при розробці проєктів планувальних рішень подолати протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу протягом життєвого циклу проєкту будівництва та підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень щодо вибору проєктів планувальних рішень у цифровому міському просторі органами виконавчої влади.

Таким чином, **науково-прикладна проблема дослідження** полягає у формуванні єдиного інформаційного середовища та аналітико-цифрового простору для інформаційного забезпечення процесів просторового планування в проєктах будівництва та розвитку територій на ґрунті міждисциплінарного підходу та інтеграції можливостей BIM- та GIS-технологій.

Рамкова модель дисертаційного дослідження надана на рис. 1.16.

Визначені в роботі наукові завдання формують концепт теоретико-методологічного простору для розв'язання поставленої в дисертаційній роботі науково-прикладної проблеми. Для вирішення вказаних наукових завдань запропоновано використати сучасні наукові досягнення в галузях: інформаційного моделювання в будівництві; інформаційного забезпечення

задач просторового планування; імітаційного моделювання та аналітичної підтримки процесів обробки просторової інформації; розвитку інструментальних засобів автоматизації; комп'ютерного моделювання міського простору; інтеграції теорії складних систем та методів системного аналізу; прикладних пакетів структурно-функціонального аналізу; теоретико-множинного моделювання; методів теорії інформації; об'єктно-орієнтованого проектування, теорії алгоритмів, програмування та експериментального проектування.

В контексті даного дослідження під *методологією* розуміється система методів, моделей та компонент ІТ, спеціально розроблених для вирішення проблеми формалізованого опису об'єктів просторового планування з позицій єдиного інформаційного середовища як складових проєктів забудови і ревіталізації. Застосування створеної в дисертаційній роботі методології спрямоване розширити можливості ІТ у такий спосіб, щоб забезпечити щільний цифровий зв'язок між планувальними характеристиками об'єкту територіального планування та цифровими індикаторами об'єкту як складової проєкту будівництва в затвердженій (остаточно скоригованій) геоінформаційній, архітектурно-конструктивній та проєктно-кошторисній документації. Це надасть керівному складу проєктів на державному, регіональному та місцевому рівнях спроможність успішного управління змінами циклу проєктів забудови і ревіталізації територій.

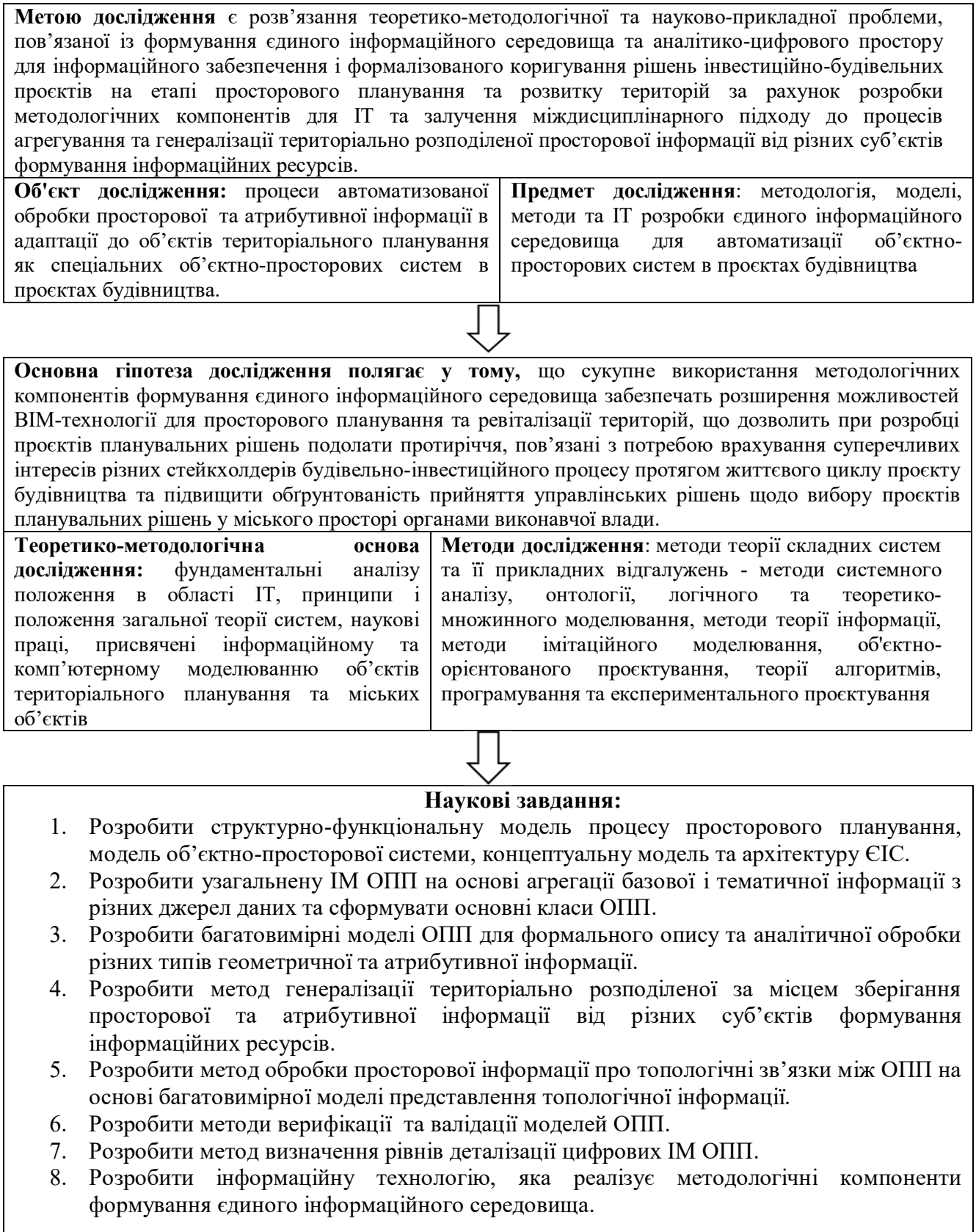


Рис. 1.16. Рамкова модель дисертаційного дослідження

Висновки до розділу 1

1. Визначені важливі аспекти просторового та територіального планування, як в межах України так і поза її кордонами в більше ніж 10 європейських країнах, Південній Кореї, Китаї та інших, розглянуто значення територіального планування, особливо в контексті землекористування та розвитку територій, і визначає завдання землеустрою, що включає планування, організацію раціонального використання і охорону земель.

2. Визначені проблеми наявних інформаційних систем планування сталого розвитку землекористування, які має міцну правову основу, але потребує постійного вдосконалення та наукового супроводу. Висвітлено виклики української системи просторового планування і запропоновано перехід до інтегрованого підходу за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій і систем для підвищення ефективності прийняття управлінських рішень органами виконавчої влади.

3. Виявлено проблему інтеграції BIM та GIS технологій в процеси міського планування та будівництва. Зазначено, що BIM – технологія інформаційного моделювання, яка змінює традиційні методи проектування та управління будівельними проєктами, забезпечуючи точність планування та оптимізацію процесів. GIS надає важливі інструменти для аналізу та візуалізації геопросторових даних, що дозволяє виконувати комплексний аналіз землекористування та планування інфраструктури. Зазначено, що сучасні будівельні проєкти стикаються з викликами, серед яких: складність координації, ризик помилок при обробці даних, виклики у зберіганні та доступі до даних. BIM та GIS пропонують рішення для цих викликів, забезпечуючи централізоване управління даними, зниження ризику помилок, поліпшення координації та співпраці. Традиційні будівельні проєкти часто мають проблеми з комунікацією та співпрацею, які BIM та GIS допомагають вирішити,

забезпечуючи централізовану платформу для обміну даними та поліпшену взаємодію між учасниками.

4. Доведено, що синергійне застосування BIM і GIS покращує процеси міського планування, роблячи їх більш інтегрованими, гнучкими та ефективними. BIM та GIS вирішують проблеми традиційних методів будівництва, забезпечуючи автоматизоване планування, оптимізацію використання ресурсів, прискорення процесів прийняття рішень та зменшення ризику помилок. Вони також сприяють підвищенню енергетичної ефективності та стійкості будівель. Попри численні переваги, інтеграція GIS та BIM стикається з викликами, такими як потреба у навчанні, розвитку навичок та вирішенні проблем сумісності даних. Визначено важливість цифровізації урбаністичних процесів, що вимагає переосмислення традиційних підходів та адаптації до існуючих регуляторних рамок.

5. Систематизовані компоненти інформаційних технологій і систем, які відповідають потребам формалізованого моделювання територіального простору та сучасним директивним вимогам, опрацьовані новітні потреби інформаційних технологій та інструментальних засобів просторового планування в проєктах будівництва та ревіталізації територій та виявлені актуальні проблеми та задачі, пов'язані з цифровізацією проєктів будівництва та ревіталізацією територій.

6. Викладено наукову гіпотезу, обґрунтовано постановку наукових завдань, що дозволило визначити методологічну базу і сформувати відповідну рамкову модель дисертаційного дослідження.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані в працях [247, 250, 252, 260, 290, 291, 294–296].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ КОМПОНЕНТИ ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ

2.1. Налаштування онтологічних і методологічних дефініцій відповідно до формату та змісту дослідження

Вивчення територій виконується різними галузями за своєю спрямованістю виділенням тематичних просторових предметів. Основна відмінність предмета від об'єкта полягає в тому, що в предмет входять лише головні, найбільш суттєві (з погляду даного дослідника) властивості та ознаки. В контексті даного дисертаційного дослідження пропонується таке визначення просторового предмету.

Просторовий предмет – це об'єкт геопростору, який володіє лише головними, найбільш суттєвими, з точки зору розв'язуваної проблеми властивостями. Тому різні фахівці-спеціалісти, які є суб'єктами спостережень і прийняття рішень, виділяють у межах досліджуваної території різні просторові предмети: геодезичні, топографічні, кадастрові, геологічні, ґрунтові, екологічні тощо, які характеризуються різними тематичними властивостями. Проте спільною властивістю всіх тематичних просторових предметів території є *просторовість* – це місце розташування просторового об'єкту у геопросторі, який має певні розміри і форму.

Просторовість вимірюється та описується координатами контурних репрезентативних точок предмета в координатних системах позиціонування, що мають координатну прив'язку, та утворюють геометричну складову просторової інформації. На місцевому, регіональному чи державному рівнях просторовість відображається в результаті генералізації просторової інформації певного рівня

деталізації тематичних предметів. Просторова інформація містить інформацію про тип, місцезнаходження, розміри та форму предмета території.

Крім просторових властивостей, просторові предмети мають нескінченну множину непросторових семантичних (атрибутивних) властивостей. Така атрибутивна інформація збирається, накопичується, зберігається, оновлюється та інтерпретується, використовується для пошуку і угруповання, але не використовується для просторового моделювання та аналізу. Отже, доцільно результати комплексних спостережень у вигляді просторової інформації різної тематики та різних рівнів деталізації використати для моделювання просторових предметів у вигляді об'єктів просторового планування.

Об'єкти просторового планування (ОПП) – це інформаційні моделі просторових предметів території та їхніх відносин, під якими розуміються як фізичні об'єкти, так і процеси, явища і події.

Сукупність об'єктів просторового планування є *інформаційною моделлю* території, яка буде використовуватися в якості інформаційного забезпечення для автоматизації об'єктно-просторових систем у проєктах будівництва.

Як засіб інформаційного забезпечення пропонується єдине інформаційне середовище (ЄІС) процесу просторового планування (ПП), що базується на сучасних засобах комп'ютерної обробки даних, геоінформаційних системах та технології інформаційного моделювання в будівництві. Таке єдине інформаційне середовище просторового планування має забезпечувати отримання, збирання, обробку, інтеграцію, зберігання, моніторинг, доступ, моделювання, використання, поширення та візуалізацію просторової інформації та її похідних з використанням апаратно-програмних комплексів.

В контексті даного дисертаційного дослідження *єдине інформаційне середовище (ЄІС)* – це ядро інформаційного забезпечення об'єктно-

просторових систем (ОПС), яке формується на основі інтегрованого підходу до управління інформацією життєвого циклу об'єктів просторового планування і та передбачає:

- 1) створення каталогу класів об'єктів просторового планування на основі метаданих та їх атрибутів;
- 2) застосування операцій агрегування просторової інформації з різних тематичних джерел даних для створення інформаційних моделей ОПП;
- 3) встановлення міжоб'єктних топологічних правил між ОПП;
- 4) визначення просторових схем для опису внутрішньої структури моделей та правил цифрового подання ОПП;
- 5) визначення заданого рівня деталізації моделей ОПП;
- 6) оновлення просторових даних в результаті здійснення операцій верифікації, валідації та моніторингу.

Інформаційне моделювання об'єктів просторового планування будівництва – це процес створення і використання інформації щодо об'єктів, які знаходяться на стадії проєкту або будівництва чи вже збудовані, з метою координації вхідних даних, організації спільної роботи та зберігання даних, а також їх використання для різноманітних цілей на усіх етапах життєвого циклу.

Геометричні дані – це інформація, що визначає розміри, форму та просторове розташування елемента цифрової інформаційної моделі.

Виявлення колізій – це процес пошуку, аналізу та усунення помилок, пов'язаних з такими аспектами:

- 1) геометричними перетинами елементів цифрової інформаційної моделі;
- 2) порушеннями нормованих відстаней між елементами цифрової інформаційної моделі;

- 3) просторово-часовими перетинами ресурсів з календарно-мережевого графіка будівництва об'єкта.

Цифрова інформаційна модель (ЦИМ) – це об'єктно-орієнтована параметрична тривимірна модель, яка представляє у цифровому форматі фізичні, функціональні та інші характеристики об'єкта (або його окремих частин) у вигляді сукупності інформаційно насичених елементів.

Рівень деталізації моделі (анг. *Level Of Detail, LOD*) – це набір вимог, який визначає повноту опрацювання елемента цифрової інформаційної моделі. Рівень проробки задає мінімальний обсяг геометричних, просторових, кількісних, а також будь-яких атрибутивних даних, необхідних для рішення завдань інформаційного моделювання на конкретній стадії життєвого циклу об'єкта.

Елемент моделі – частина цифрової інформаційної моделі, що представляє компонент, систему або збірку в межах об'єкта будівництва або території під забудову.

Сервер інформаційних моделей – це централізоване або розподілене сховище інформаційних моделей та бібліотек електронних компонентів, яке виконує роль системи моделювання у складі обчислюваного середовища та може бути репозиторієм моделей проєкту. До функціональних характеристик сервера інформаційних моделей висуваються такі вимоги:

- 1) сервер повинен забезпечувати зберігання параметричних моделей;
- 2) сервер має реалізовувати контроль версій рівня атрибутів інформаційної моделі;
- 3) сервер повинен забезпечувати поділ прав доступу до інформації;

- 4) має бути реалізована підтримка інтеграції з програмним забезпеченням (ПЗ) різних виробників за стандартизованим інтерфейсом розробника відкритого взаємодії;
- 5) має бути реалізована підтримка взаємодії та обміну інформацією із системами математичного моделювання;
- 6) має бути реалізована підтримка інформації життєвого циклу;
- 7) має бути реалізована підтримка структурування інформації на основі семантики даних та моделей;
- 8) має бути реалізована підтримка управління бізнес-процесами та інформаційними потоками даних.

У найпростішому випадку сервер інформаційних моделей може бути поданий у вигляді структурованого файлового сховища з організованим по ньому пошуком на основі семантичних даних. У більш складному вигляді це може бути база даних з аналогічними вимогами щодо пошуку інформації.

Комплексний план просторового розвитку території – це одночасно містобудівна документація на місцевому рівні та документація із землеустрою, що визначає планувальну організацію, функціональне призначення території, основні принципи і напрями формування єдиної системи інженерно-транспортної інфраструктури, інженерної підготовки і благоустрою, цивільного захисту, охорони земель та інших компонентів навколишнього природного середовища, формування екомережі, охорони і збереження культурної спадщини та традиційного характеру середовища населених пунктів, а також послідовність реалізації рішень, у тому числі етапність освоєння території [17].

2.2. Узагальнена модель об'єкту просторового планування і опис основних класів об'єктів містобудування

Завданням методології інформаційного моделювання в будівництві, яка є науковим підґрунтям створення BIM-технології, полягає у використанні інформаційного моделювання на різних стадіях життєвого циклу об'єкта для досягнення однієї або декількох цілей інвестиційно-будівельного проєкту [146].

Базова точка проєкту повинна мати прив'язку до фактичних координат місцевості – X, Y, Z – та кута, з вказівкою абсолютної висоти, прийнятої за відносну позначку 0,000. При розробці цифрової інформаційної моделі необхідно використовувати єдину систему одиниць виміру (табл. 2.1).

Усі об'єкти цифрової інформаційної моделі мають розроблятися відповідно до їх справжніх розмірів у масштабі 1:1 у метричній системі одиниць виміру (мм, м, м², м³).

Таблиця 2.1.

Система одиниць виміру елементів цифрової інформаційної моделі

Елементи цифрової інформаційної моделі	Метрична система одиниць виміру	Приклад
Лінійні розміри	мм, із округленням до цілого значення	0 мм
Висотні позначки	м, із округленням до трьох знаків після коми	0,000 м
Кутові розміри	градусо-хвилино-секунди	00'0''
Значення площі	м ² , із округленням до двох знаків після коми	0,00 м ²
Значення об'єму	м ³ , із округленням до трьох знаків після коми	0,000 м ³

Інформаційна модель антропогенного об'єкта може містити проєктні, будівельні та експлуатаційні моделі у вигляді окремих інформаційних наборів протягом життєвого циклу реалізації проєкту.

Таким чином, загальне правило побудови цифрової інформаційної моделі потребує визначення класу об'єкту просторового планування, що складається з геометричного подання та набору атрибутивних характеристик:

$$OPP = GP + \sum_{k=1}^n A_k, \quad (2.1)$$

де **OPP** – об'єкт просторового планування, який відображає загальне представлення геопросторового об'єкту;

GP – геометричне подання, яке може приймати значення від 0 до 2, де 0 – point (точка), 1 – polyline (полілінія), 2 – polygon (полігон);

$\sum_{k=1}^n A_k$ – набір атрибутивних характеристик об'єкта, де A_k представляє кожен атрибут окремо.

На рис.2.1 надані приклади найпростіших точкових, полінійних та полігональних об'єктів з атрибутами [47].

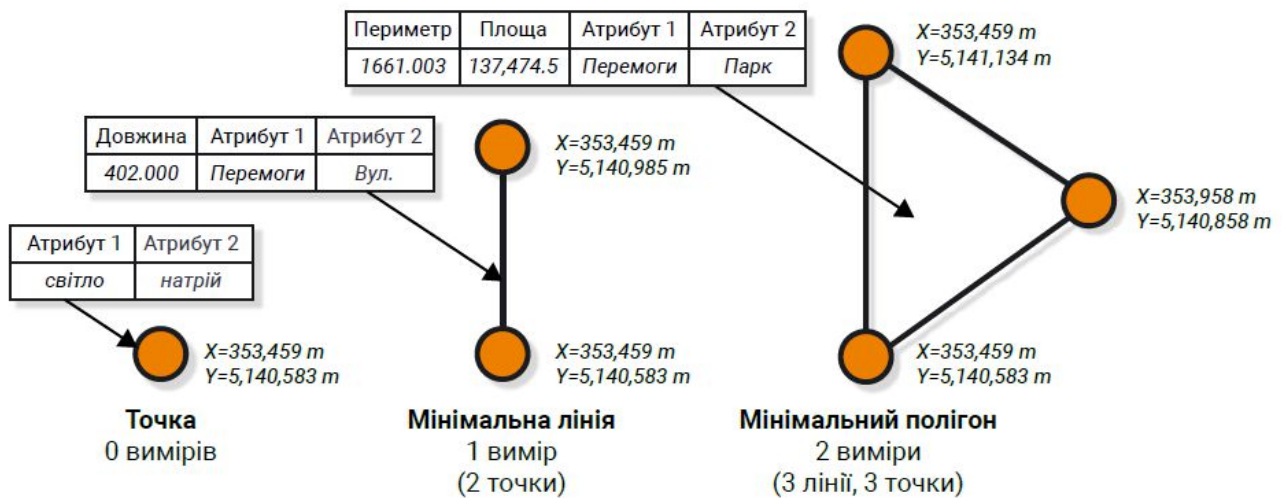


Рис. 2.1. Приклади найпростіших точкових, лінійних та полігональних об'єктів з атрибутами [47]

Набір характеристик для просторового представлення об'єктів формується з даних, які походять з різних тематичних джерел – геодезичних, геологічних, кадастрових та інших.

Геодезичні дані включають точне визначення місцеположення об'єктів на земній поверхні. Можуть включати координати (широта, довгота), висоту, відстані між точками, кути та інші просторові виміри. Використовуються для створення точних карт та планів, навігаційних систем, вимірювання меж земельних ділянок тощо.

Геологічні дані включають інформацію про геологічну будову території, типи ґрунтів, наявність водних об'єктів, мінералів, корисних копалин, палив тощо. Ці дані важливі для будівництва, оцінки екологічних умов, просторового планування та землекористування.

Кадастрові дані включають інформацію про земельні ділянки, таку як їхнє місцеположення, розмір, межі, власність, правовий статус, цільове використання, вартість та інші відомості. Ці дані є ключовими для земельного управління, оцінки нерухомості, містобудівного планування, правових питань. Інші типи даних можуть включати екологічні дані, інформацію про інфраструктуру (таку як дороги, комунальні мережі), соціально-економічні дані, історичні відомості тощо. Ці дані використовуються для комплексного аналізу та планування, створення стратегій міського розвитку, оцінок впливу на довкілля тощо.

Збирання та інтеграція цих різноманітних даних дають змогу створити всебічний і точний просторовий портрет території або об'єкта просторового планування, що необхідно для прийняття інформованих рішень у галузях містобудування, екології, земельного управління, розвитку інфраструктури та інших сферах.

Структура бази геоданих містобудівної документації на місцевому рівні є достатньо складною, оскільки містить різноманітні типи атрибутів, які

охоплюють описові, геометричні та часові властивості. Для ефективного управління та аналізу даних корисно розділити ці атрибути на базові та другорядні набори, структура яких залежатиме від специфіки задач, які потребують розв'язання.

Описові атрибути включають текстову та числову інформацію, яка описує характеристики об'єкта, наприклад, назву, тип, призначення, власника, юридичні відомості тощо. Ці дані важливі для ідентифікації об'єктів та забезпечення контексту для інших типів атрибутів.

Геометричні атрибути включають інформацію про просторове розташування та форму об'єктів (точки, полілінії, полігони). Важливі для визначення місця розташування, розмірів, форми та інших просторових характеристик об'єкта.

Часові атрибути включають дати та часові інтервали, пов'язані з об'єктом, наприклад, час створення, планові терміни реалізації тощо. Ці дані корисні для відстеження динамічних властивостей об'єкта, планування та розвитку територій.

Базові атрибути – це основні дані, необхідні для більшості задач, пов'язаних з містобудуванням. Вони включають ключові описові, геометричні та часові атрибути.

Другорядні атрибути – це специфічні дані, що використовуються для конкретних аналітичних завдань або детальних досліджень. Можуть включати додаткові описові дані, технічні параметри, історичні відомості, екологічну інформацію тощо.

Таким чином, узагальнена модель об'єкту просторового планування (рис. 2.1) складається з комплексного поєднання типів геометричного подання (point, polyline, polygon) та набору атрибутивних характеристик (базових та другорядних). Використання цієї структури дозволяє ефективно управляти містобудівними даними на різних організаційних рівнях, адаптуючи набори

атрибутив під конкретні задачі та вимоги, що поліпшує аналіз, планування та прийняття рішень у сфері містобудування та розвитку територій.

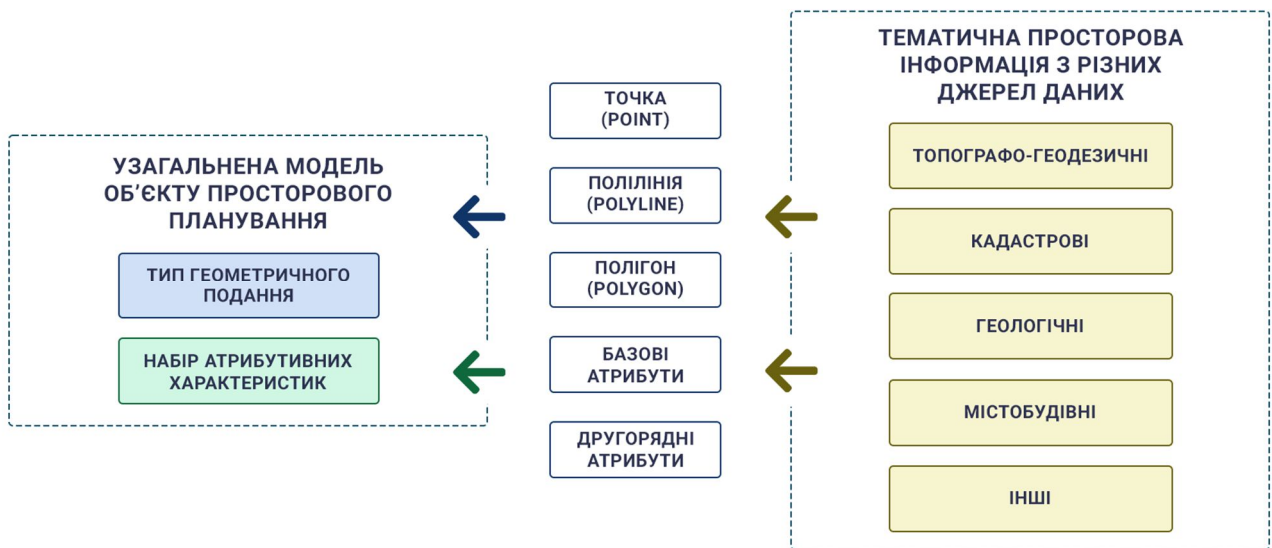


Рис. 2.2. Узагальнена модель об'єкту просторового планування

Як методологічна база розробки моделей ОПП у дисертаційній роботі використовується об'єктно-орієнтований підхід. Відповідно до нього всі об'єкти поділяються на класи.

Кожен клас ОПП відбиває деякі загальні ознаки і елементи поведінки реальних геооб'єктів. У програмному середовищі моделювання певної предметної області клас має власний набір властивостей, і навіть внутрішньооб'єктних і міжоб'єктних відносин, реалізованих у вигляді полів і методів програмного об'єкта, інкапсульованих у клас. За рахунок цього досягається проблемно-орієнтоване моделювання «поведінки» ОПП в середовищі інформаційної системи.

Окрім класу ОПП, доцільно визначити в моделі множину інструментальних засобів, які призначені для виконання операцій над просторовими об'єктами та їх групами. Вони дозволяють створювати та

видаляти екземпляри ОПП, встановлювати або скасовувати міжоб'єктні екземплярні зв'язки, ініціювати деякі процеси перетворення моделі.

Для формування станів просторової структури ОПП для розв'язання завдань просторового планування можна використовувати модель у вигляді виразу:

$$M = \langle V, A, C, E, I \rangle, \quad (2.2)$$

де V – множина способів геометричного подання моделі ОПП; A – множина атрибутів, визначених у моделі; C – множина класів ОПП; E – множина екземплярів ОПП; I – множина інструментів, що дозволяють створювати та модифікувати екземпляри ОПП з урахуванням відносин та обмежень, встановлених в класах ОПП.

Передбачається реалізувати модель, яка задана виразом (2.2), в єдиному інформаційному середовищі (ЄІС), структуру якого можна формально подати у вигляді кортежу:

$$MS = \langle W, Q, U, B, R, H \rangle, \quad (2.3)$$

де W – множина джерел даних; Q – множина споживачів просторової інформації; U – множина інструментів транспортування та перетворення інформації; B – множина задач просторового планування, для розв'язання яких застосовується ЄІС; R – множина відносин між елементами множин W, Q, U і B ; H – множина операцій (процедур, методів), які можуть виконуватися над елементами множин W, Q, U, B і R .

Для реалізації моделі ОПП (2.2) в ЄІС описуються всі елементи найбільш загальної моделі структури виду (2.3). Елементи множин W, Q, U, B подаються за допомогою елементів множин V, A, E і C , елементи множин R і H – за допомогою C, E, I .

Множини C та I утворюють модель предметної області: $M^{PO} = \langle C, I \rangle$.

В процесі роботи програмних додатків ці множини залишаються статичними, тому їхні елементи можуть бути автоматизовані. За допомогою C

та I здійснюється формування та зміна складу множини E . Склад та стан елементів множини E визначають екземпляр M , що однозначно відображає стан просторової структури на момент часу t .

Кожен клас ОПП $c_k \in C$ можна описати виразом:

$$c_k = \langle n_k^c, V_k^c, A_k^c, R_k^c \rangle, \quad (2.4)$$

де n_k^c – унікальне ім'я класу; V_k^c – множина геометричних характеристик класу (спосіб просторового подання ОПП, $V_k^c \subset V$); A_k^c – множина атрибутів класу ($A_k^c \subset A$); R_k^c – множина відносин на множині атрибутів V_k^c і A_k^c , реалізованих у вигляді інструментальних засобів, описаних множиною I .

Кожен екземпляр ОПП $e_k \in E$ у цьому випадку описується так:

$$e_k = \langle n_k^e, V_k^e, A_k^e \rangle, \quad (2.5)$$

де n_k^e – унікальне ім'я екземпляру класу; V_k^e – множина значень геометричних координат екземпляра; A_k^e – множина значень атрибутів екземпляра.

Кожен інструмент $i_k \in I$ можна визначити у вигляді кортежу:

$$i_k = \langle n_k^i, C_k^i, y_k \rangle, \quad (2.6)$$

де n_k^i – унікальне ім'я інструменту; C_k^i – множина класів ОПП, для яких застосовується i -й інструмент; y_k – операція редагування моделі.

Операція редагування моделі – це алгоритмічно реалізована функція, яка ініціюється користувачем системи комп'ютерного моделювання для деякої підмножини об'єктів E_t і переводить елементи множини E в моделі (2.2) з одного стійкого стану в інший за певний проміжок часу $t=t_2-t_1$:

$$E^{t_1} \xrightarrow{y_t} E^{t_2}. \quad (2.7)$$

Істотним чинником складності моделювання ОПП є *висока розмірність*, тобто велика кількість елементів і зв'язків. Для зниження розмірності використовуються еквівалентування. В результаті еквівалентування ділянки території, що включають множини пов'язаних елементів, замінюються одним елементом, властивості якого еквівалентні властивостям множині елементів, що

замінюються. Оскільки об'єктом дослідження в даному випадку є безперервна в просторі територія, елементи, що еквівалентуються, має бути полігональними ОПП. Іншими словами, замість конкретних об'єктів інженерної мережі в моделі потрібно задати множину ділянок території, що межують одна з одною, кожна з яких має властивості джерела, споживача і транспортного середовища, що є інтегральним уявленням властивостей розташованих на цій ділянці об'єктів.

Структура моделі формується на основі базового набору метаданих згідно класу ОПП. Конкретизація умов та сфери застосування розроблюваної інформаційної моделі визначається різними потребами користувачів, що передбачає побудову кількох моделей досліджуваного об'єкта з достатнім ступенем адекватності відповідно до різних точок зору.

Базовими є обов'язкові атрибути для кожного класу ОПП відповідно до структури бази геоданих містобудівної документації на місцевому рівні, які визначено в [59]: 1) класифікаційний код: `class`; джерело даних: `source`; 3) назву: `name`; 4) точність відображення на картах різного масштабу: `precise`; 5) статус об'єкту: `state`; 5) проектну зміну стану: `change`.

В табл. 2.2 представлено фрагмент переліку допустимих значень для базових та популярних атрибутів об'єктів просторового планування. Повний перелік атрибутів надано в табл. А1 додатку А.

Таблиця 2.2.

Перелік допустимих значень для популярних атрибутів

Назва атрибуту	Псевдонім	Код	Перелік допустимих значень атрибуту
state	Статус об'єкту	0	не визначено
		1	існуючий діючий
		2	існуючий недіючий
		3	на реконструкції
		4	на стадії будівництва (реалізації)
		5	зруйнований (руїни)
		6	законсервований
		7	занедбаний
		8	проектний
		9	проектний на короткостроковий період
		10	проектний на середньостроковий період
		11	проектний на довгостроковий період
		12	запроєктований раніше
		13	аварійний
change	Проектна зміна стану	0	не змінюється (зберігається)
		1	реконструкція
		2	модернізація
		3	ліквідація
		4	демонтаж
		5	знесення
		6	закриття
		7	створення у короткостроковий період
		8	створення у середньостроковий період
		9	створення у довгостроковий період
z_kind	Характер встановлення зони	0	відсутня
		1	нормативна
		2	за проєктом
eng_type	Тип інженерного забезпечення споруди	0	не визначено
		1	централізоване
		2	автономне
		3	змішане

Окремий клас для опису об'єкта просторового планування буде формуватися за принципом, поданим на рис. 2.3.

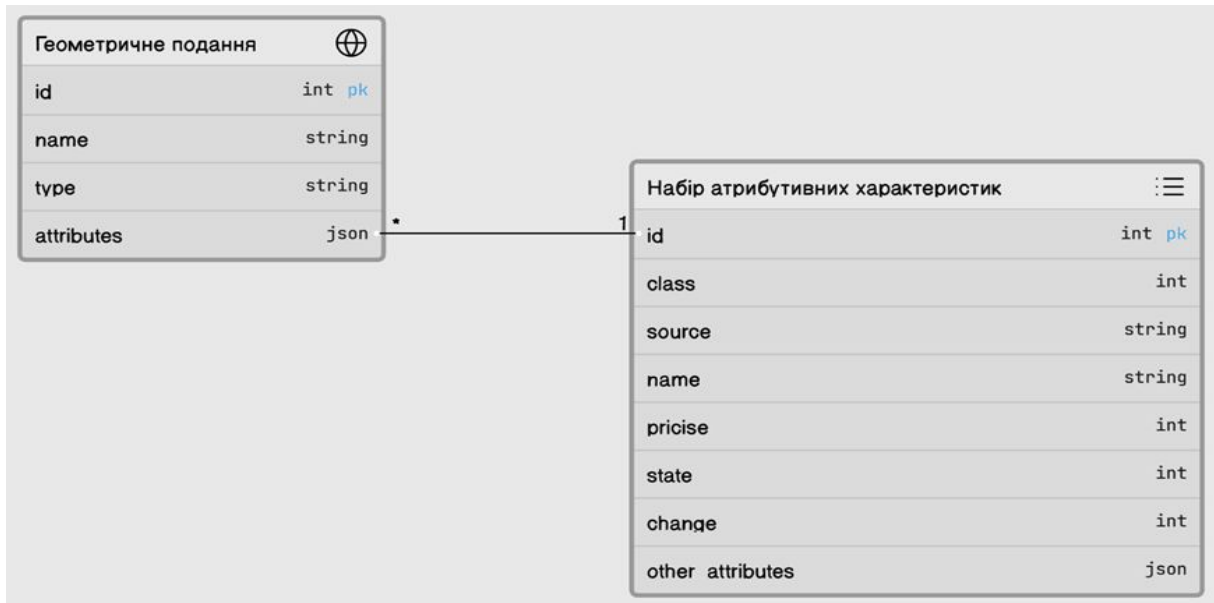


Рис. 2.3. Принцип формування класу ОПП

Розподіл об'єктів містобудування за класами із визначеним переліком атрибутів для кожного класу є ключовим для ефективного управління міським простором та просторовим плануванням територій. Кожен клас має свої унікальні характеристики та вимоги до даних.

Розглянемо основні класи об'єктів просторового планування (рис.2.4):

- Земельні ділянки та території (табл. 2.3);
- Будівлі (різних типів – житлові, нежитлові тощо) та споруди (різних типів – інженерного забезпечення) (табл. 2.4);
- Дороги (табл. 2.5);
- Інженерні комунікації (системи водопостачання, водовідведення, тепломережі, газопостачання тощо) (табл. 2.6);
- Елементи благоустрою (лавки, урни, дерева, кущі, дитячі майданчики, майданчики для вигулу тварин тощо) (табл. 2.7);
- Просторові обмеження (табл. 2.8).

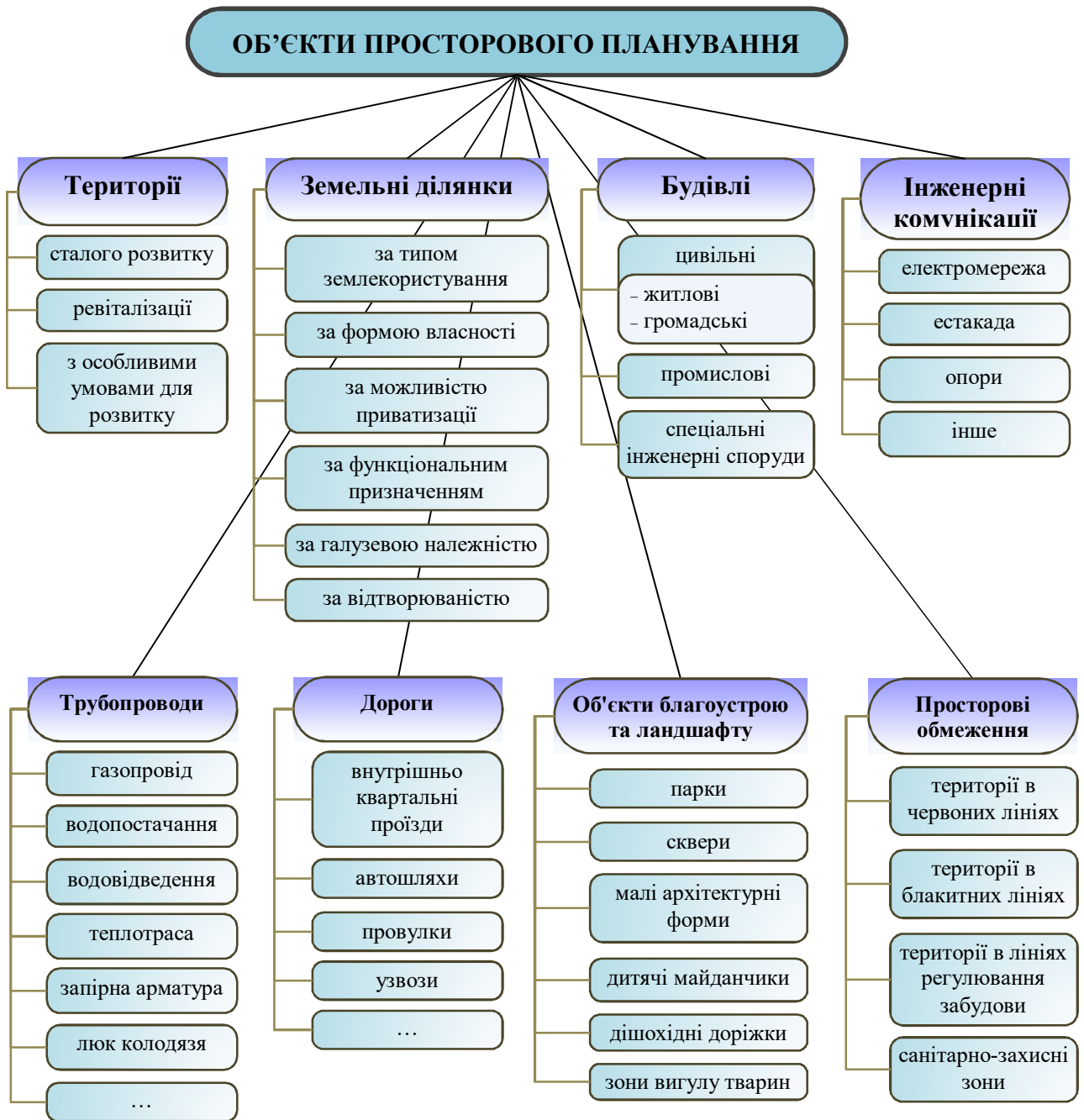


Рис. 2.4. Структура основних класів ОПП

Таблиця 2.3. Набір атрибутів класу «Земельні ділянки: Landuse»

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Контури земель	Polygon	category	категорія земель
		pur_code	код цільового призначення
		purpose	цільове призначення
		ownersh	форма власності
		land_user	землекористувач
		ad_info	додаткова інформація
		area	площа, га
Земельна ділянка	Polygon	region	область
		district	район
		hromada	територіальна громада
		settle	населений пункт
		ad_guid	код об'єкту адреси
		location	відношення до населеного пункту
		cad_num	кадастровий номер
		category	категорія земель
		pur_code	код цільового призначення
		purpose	цільове призначення
		use	використання
		ownersh	форма власності
		area_l	площа за документами, га
		area_f	площа ділянки (фактична), га
		bld_coef	максимально допустимий відсоток забудови, %;
		pop_dens	максимальна щільність населення в межах житлової забудови, осіб/га
		height	гранична висота будівель, м
		stores	гранична поверховість
		distance	мінімальна відстань між будівлями, м
		gr_per	мінімальний відсоток озеленення, %
min_auto	мінімальна кількість м/м для зберігання індивідуального транспорту, од.		
min_unl	мінімальна кількість м/м на розвантажувальних майданчиках, од.		
min_truc	мінімальна кількість м/м для зберігання (технологічного відстою) вантажного автотранспорту на території земельних ділянок, од.		

Таблиця 2.4. Набір атрибутів класу «Будівлі: Structures»

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Житлові будівлі	Polygon	function	функціональне призначення
		ad_guid	код адреси
		square	площа забудови, м ²
		total_ar	загальна площа будівлі, м ²
		blt_in	загальна площа вбудованих приміщень іншого функціонального призначення, м ²
		blt_out	загальна площа прибудованих приміщень, м ²
		length	довжина, м
		width	ширина, м
		depth	глибина, м
		height	висота, м
		under_one	позначки висот підлоги 1-го поверху
		floors	кількість поверхів
		undergr	кількість підземних поверхів
Громадські будівлі та споруди	Polygon	function	функціональне призначення
		usage	фактичне використання
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		ad_guid	код адреси
		square	площа забудови, м ²
		total_ar	загальна площа будівлі, м ²
		blt_in	загальна площа вбудованих приміщень іншого функціонального призначення, м ²
		blt_out	загальна площа прибудованих приміщень, м ²
		floors	кількість поверхів
		undergr	кількість підземних поверхів
		length	довжина, м
		width	ширина, м
		depth	глибина, м
height	висота, м		
Будівлі та споруди інженерного забезпечення	Polygon	function	функціональне призначення
		usage	фактичне використання
		szz_in	розмір санітарно-захисної зони існуючий, м

		szz_pr	розмір санітарно-захисної зони, проектний на короткостроковий період, м
		szz_pro	розмір санітарно-захисної зони, проектний на середньостроковий період, м
		szz_ext	розмір санітарно-захисної зони, проектний на довгостроковий період, м
		pr_zone	розмір охоронної зони, м
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		ad_guid	код адреси
		square	площа забудови, м ²
		volume	будівельний об'єм, м ³
		length	довжина, м
		width	ширина, м
		depth	глибина, м
		height	висота, м
Гідроінженерні споруди	Polygon Polyline Point	type	тип гідроінженерної споруди
		dkbscode	код за ДК 018-2000
		usage	фактичне використання
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		square	площа забудови, м ²
		length	довжина, м
		width	ширина, м
		depth	глибина, м
height	висота, м		

Таблиця 2.5. Набір атрибутів класу «Дороги: Transport_networks»

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Автомобільні дороги	Polyline	name	назва
		material	матеріал покриття
		traf	Ширина, м
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		tc_guid	код транспортного коридору
		type	тип дороги проектний на середньостроковий період
		cat	категорія
Вулиці та дороги населених пунктів	Polyline	length	довжина, м
		name	назва
		park	дозвіл на паркування
		lanes	кількість смуг руху транспорту
		length	довжина, м
		material	матеріал покриття
		traf	Ширина, м
		stable	сталість функціонування
Залізничні магістралі	Polyline	kind	тип вулиці
		type	різновид магістральної залізниці
		track	колійність
		width	ширина, м
		el	електрифікація
		category	категорія залізничної лінії
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		length	протяжність в межах громади, км
		carg	інтенсивність руху вантажних поїздів, пар/добу
		pass	інтенсивність руху пасажирських поїздів, пар/добу
sub	інтенсивність руху приміських поїздів, пар/добу		

Таблиця 2.6. Набір атрибутів класу «Інженерні комунікації:
Engineering_networks»

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Лінії електромереж	Polyline	type	тип ліній електропередачі
		voltage	напруга, кВ
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		prz	характер встановлення охоронної зони
		pr_zone	розмір охоронної зони, м
Розподільні газопроводи	Polyline	type	категорія розподільного газопроводу
		diameter	переважний діаметр трубопроводу, мм
		z_kind	характер встановлення зони
		pr_zone	розмір охоронної зони, м
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
Мережі теплопостачання	Polyline	type	тип теплопостачання
		transfer	вид теплоносія
		direct	напрямок
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
Водопроводи питного водопостачання	Polyline	type	тип водопроводу
		kind	різновид водопроводу
		outr	потужність, куб. м на добу
		z_kind	характер встановлення зони
		zso	розмір зони санітарної охорони, м
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
Трубопроводи каналізаційних мереж	Polyline	type	тип каналізаційного колектору
		outr	потужність, куб. м на добу
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
Телекомунікаційн і лінії	Polyline	type	тип телекомунікаційної мережі
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
Канали меліоративних систем	Polyline	type	тип каналізаційного колектору
		outr	потужність, куб. м на добу
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м

Таблиця 2.7. Набір атрибутів класу «Елементи благоустрою: Landscaping»

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Лавки	Point Polygon	type	тип лавки
		material	матеріал
		length	довжина, м
		width	ширина, м
		location	розташування
		height	висота, м
		capacity	місткість
Урни	Point	san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		type	тип урни
		material	матеріал
		volume	об'єм
		freq_of_emptying	частота спорожнення
		location	розташування
Дерева	Point Polygon	san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		species	вид
		height	висота, м
		age	вік
		crown_diameter	діаметр крони
		condition	стан
Кущі	Point Polygon	san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		species	вид
		height	висота, м
		spread	розповсюдження
		condition	стан
Дитячі майданчики	Polygon	san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		equipment	обладнання
		area	площа
		safety_surface	безпечне покриття
		location	розташування
		length	довжина, м
Зони для вигулу тварин	Polygon	width	ширина, м
		san_gap	санітарний (інший) відступ, м
		area	площа
		fence_type	тип огорожі
		surface_type	тип покриття
		location	розташування
length	довжина, м		
width	ширина, м		
san_gap	санітарний (інший) відступ, м		

Таблиця 2.8. Набір класу «Обмеження: Restrictions»

Клас ОПП	Геометрія	Атрибути:	
		Назва	Опис
Території в червоних лініях	Polygon	act	підстава виникнення обмеження
		restr_code	код обмеження
Території в блакитних лініях	Polygon	height_m	висота, м
		height_s	висота, поверхи
		res_code	код обмеження
Території в лініях регулювання забудови	Polygon	act	підстава виникнення обмеження
		restr_code	код обмеження
Санітарно-захисні зони	Polygon	act	підстава виникнення обмеження
		res_code	код обмеження
		ro_name	назва режимоутворюючого об'єкту
		ro_guid	код режимоутворюючого об'єкту
		z_kind	характер встановлення зони
		size	розмір санітарно-захисної зони, м
		abidance	стан дотримання
		status	статус
		change	проектна зміна статусу

Узагальнений опис вимог до базових рівнів деталізації елементів цифрової інформаційної моделі відповідно до класів ОПП представлено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10. Вимоги до рівнів пропрацювання до цифрових моделей

Клас ОПП	LOD100	LOD200	LOD300	LOD400
Контури земель	Основна геометрія	Точне місцезнаходження, геометрія	Геометрія з деталями межі та використання	Деталізовані дані про межі, правові аспекти, обтяження
Земельна ділянка	Основна геометрія	Точне місцезнаходження, геометрія	Додаткові деталі (призначення, власність)	Всі юридичні та експлуатаційні характеристики
Житлові будівлі	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Деталізована геометрія, матеріали, системи	Повний набір конструктивних, інженерних та архітектурних деталей
Громадські будівлі та споруди	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Повні архітектурні та інженерні деталі	Включає всі внутрішні елементи та системи
Будівлі та споруди інженерного забезпечення	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Повна інженерна деталізація, включаючи системи	Всі елементи, системи та їхні взаємозв'язки
Гідроінженерні споруди	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Детальні конструктивні та функціональні характеристики	Повний набір деталей, включаючи обладнання, інженерні мережі
Автомобільні дороги	Проста лінія	Точна геометрія, профілі, перехрестя	Деталі дорожнього покриття, розмітки, інфраструктури	Повна інформація про всі елементи, включаючи сигналізацію
Вулиці та дороги населених пунктів	Проста лінія	Точна геометрія, профілі, перехрестя	Повна деталізація, включаючи обладнання та інфраструктуру	Всі елементи, включаючи підземні комунікації
Залізничні магістралі	Проста лінія	Точна геометрія, профілі, перехрестя	Деталізація шляхів, переїздів, сигналізації	Комплексні системи управління, технічне обладнання

Продовження таблиці 2.10

Лінії електромереж	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Детальні характеристики кабелів, опор, обладнання	Всі елементи системи, включаючи захист та керування
Розподільні газопроводи	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Включає клапани, фітинги, регулятори тиску	Комплексні системи контролю та безпеки
Мережі теплопостачання	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Включає всі елементи системи, включаючи регулятори	Детальні характеристики обладнання, контрольні системи
Водопроводи питного водопостачання	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Всі елементи системи, включаючи клапани, фітинги	Повний набір деталей, включаючи системи моніторингу
Трубопроводи каналізаційних мереж	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Деталі конструкції, включаючи доступи, фітинги	Повна інформація про системи, включаючи очисні споруди
Телекомунікаційні лінії	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Деталізація з'єднань, розподільних точок	Повна інформація про системи, включаючи технічне обладнання
Канали меліоративних систем	Проста лінія	Точне місцезнаходження, геометрія, матеріал	Детальні характеристики, включаючи матеріали	Повний набір деталей, включаючи системи управління
Лавки	Просте позначення	Первинні форми, просторове розміщення, матеріали	Деталі конструкції, включаючи основи та фіксацію	Включає інформацію про обслуговування та заміну
Урни	Просте позначення	Первинні форми, просторове розміщення, матеріали	Деталі конструкції, включаючи кріплення	Включає інформацію про обслуговування та заміну

Продовження таблиці 2.10

Дерева	Просте позначення	Первинні форми, вид, висота, діаметр стовбура	Детальна інформація про стан, вік, потреби в обслуговуванні	Всеохоплююча інформація про дерево, включаючи корінневу систему
Кущі	Просте позначення	Первинні форми, вид, розмір, форма	Детальна інформація про стан, вік, потреби в обслуговуванні	Всеохоплююча інформація про кущ, включаючи корінневу систему
Дитячі майданчики	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Детальні характеристики обладнання, безпека	Повний набір деталей, включаючи системи обслуговування
Зони для виходу тварин	Основна геометрія	Первинні форми, просторове розміщення	Деталі обладнання (сміттєві урни, лавки)	Всеохоплююча інформація про обслуговування зони

2.3. Формалізація інформаційного забезпечення об'єктно-просторових систем на основі структурно-функціональної моделі процесу просторового планування

Сформована структура інформаційного забезпечення процесу просторового планування в проєктах будівництва (рис.1.15) дала змогу виявити, що основною результуючою функцією цього процесу є підготовка планувальних рішень (F_p), який базується на результатах просторового аналізу території (F_a), для якого потрібні відповідні моделі. Однак для моделювання території (F_m) необхідні вхідні дані, тому збір даних про територію та формування просторової інформації задаються відповідними функціями F_d та F_i . Для контролю та сприйняття людиною результатів просторових рішень необхідна функція візуалізації та створення цифрових карт (F_c), що забезпечує їх реалізацію. У формально-логічному поданні перелічені функції можна подати як здійснення технологічного процесу інформаційного забезпечення проєктів просторового планування: від отримання даних до візуалізації результатів.

Збір даних про територію забудови. Територія може вивчатися безпосередньо чи опосередковано за картографічними матеріалами геоінформаційних систем. *Опосередковане вивчення* території можна використовувати як самостійний єдиний вид вивчення, або доповнювати результати безпосереднього вивчення. У будь-якому випадку воно починається з виявлення та збирання найбільш достовірних джерел даних про територію. Сукупність отриманих при безпосередньому вивченні топологічних (D_t), ідентифікаційних (D_i), геометричних (D_g) та семантичних (D_s) даних утворює первинні дані про територію, загалом – *геопросторові первинні дані* (D).

Таким чином, функція F_d здійснює відображення просторових властивостей території на множину D :

$$F_d: Dt, Di, Dg, Ds \rightarrow D, \quad (2.8)$$

Процес *інформаційного відображення території* здійснює перетворення просторових первинних даних (D) у просторову інформацію (I): геометричні дані піддаються обчислювальній обробці, при якій зрівнюються координати та, за необхідності, висоти репрезентативних точок, а геометричні дані зводяться до єдиної системи координат. При цьому використовується вхідна інформація у вигляді координат та висот опорних точок у заданій координатній системі та картографічної проєкції. Таким чином, виникає геометрична інформація (I_g). Топологічні дані із схематичного графічного зображення території перетворюються на цифрову табличну форму опису контурів і предметів – *топологічну інформацію* (I_t), яка спільно з геометричною інформацією визначають спосіб просторового подання об'єкта місцевості – *просторову інформацію* (I_p), що повністю відображає просторові властивості предметів. Обробка семантичних даних полягає у систематизації, класифікації та кодуванні характеристик непросторових властивостей предметів. В результаті обробки виходить *атрибутивна інформація* (I_a), що включає тип просторового предмета та множину його властивостей. Ідентифікаційні дані використовуються при обробці без зміни і (як складова частина) входять до просторової та атрибутивної інформації, забезпечуючи їх однозначний зв'язок для кожного предмета. Упорядкована сукупність геометричної, топологічної та атрибутивної інформації утворює повну інформацію (I) про просторовий предмет території:

$$F_i: D \rightarrow I = \{ I_g, I_p, I_a \}. \quad (2.9)$$

Наявність просторової інформації дозволяє *моделювати територію* та, зокрема, створювати її інформаційну модель.

Формально процес моделювання території відповідає виразу:

$$F_m: I \rightarrow M. \quad (2.10)$$

Множина моделей M , у свою чергу, є сукупністю підмножин тематичних моделей ОПП:

$$M = \{OPP_i\}, i=1\dots I. \quad (2.11)$$

де OPP_i – опис i -го ОПП згідно формули (2.1).

Атрибутивна інформація не створює самостійну модель, а доповнює просторову модель, при цьому вона може бути складовою компонентою в описі кожного ОПП або утримуватися в атрибутивній базі даних, єдиною для всього геопростору території.

Модель території складається з тематичних шарів, в які групуються ОПП, що належать до однієї теми (класу) об'єктів: рослинність, земельні ділянки тощо однієї розмірності: нуль вимірні (точкові), одновимірні (полілінійні) та двовимірні (полігональні) згідно опису (2.1).

Просторовий аналіз. Тематичні моделі просторових предметів території використовуються для просторового аналізу, який зручно виконувати за допомогою інструментальних засобів *GIS*. В результаті просторового аналізу модель території (A) доповнюється новими просторовими об'єктами, виробляється оцінка території або процесів, що відбуваються на ній у тому чи іншому аспекті. Формально просторовий аналіз можна описати виразом:

$$F_a: M \rightarrow A. \quad (2.12)$$

Підготовка рішень просторового планування. Планувальне рішення – це проект просторового перетворення (R) або безпосередньо самої території, або процесів, що відбуваються на ній, що реалізується за допомогою інструментальних засобів *VIM*. Планувальне рішення приймається на основі проекту просторового планування території згідно функціонального призначення з урахуванням обмежень та вимог до використання.

Проект просторового планування – це модель територіального простору з урахуванням елементів, отриманих в результаті просторового аналізу та компонування ОПП. Як правило, розробляється створюється декілька варіантів моделей територій проектів ПП, необхідних для порівняння, обґрунтування та вибору оптимального рішення. Процес підготовки планувальних рішень формально може бути описаний виразом:

$$F_p: M \cup A \rightarrow P. \quad (2.13)$$

Створення цифрових моделей об'єктів та проектів просторового планування. На основі інформаційних моделей ОПП в результаті просторового аналізу та запропонованих рішень просторового планування створюються цифрові моделі ОПП території (C).

Візуалізація. Для візуального сприйняття на основі цифрових моделей ОПП території створюються електронні тематичні карти (E) та їх графічні (G) копії у вигляді картографічних зображень. Процес візуалізації планувальних рішень формально може бути описаний виразом:

$$F_c: \{M \vee A\} \wedge \vee R \rightarrow C, \text{ та } \{M \vee A \vee C\} \wedge \vee R \rightarrow G. \quad (2.14)$$

В результаті детального розгляду технологічних функцій **просторового планування** проектів будівництва запропоновано його структурно-функціональну модель (рис. 2.5). У формальному вигляді сутність системного інформаційного забезпечення просторового планування представляється комплексною функцією F , що здійснює перетворення на множині просторових даних $Data$:

$$IC \text{ ПП} \equiv \{F, Data\}, \quad (2.15)$$

де $F = (F_d, F_i, F_m, F_a, F_r, F_c)$; $Data = \{D, I, M, A, R, C\}$.

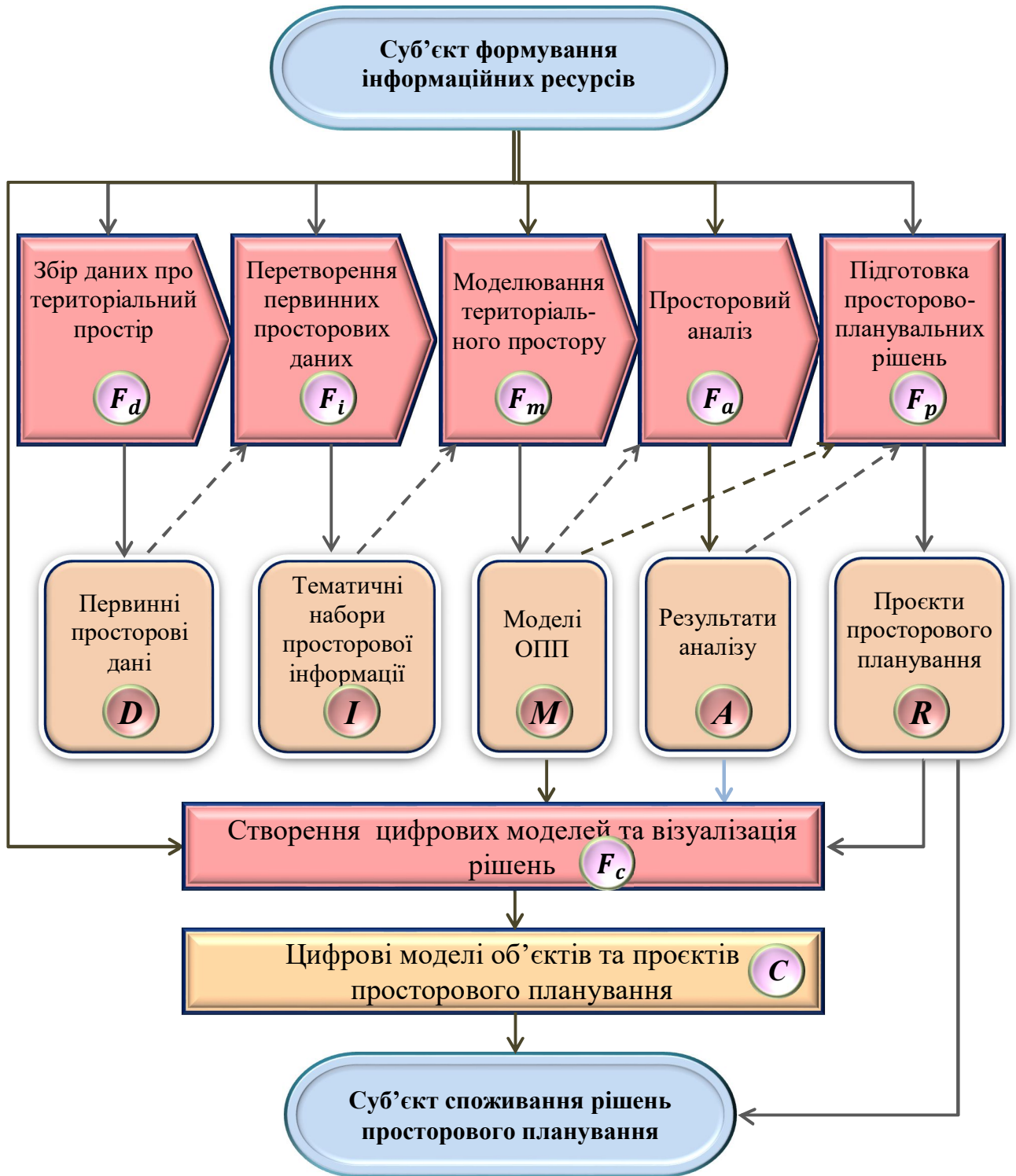


Рис. 2.5. Структурно-функціональна модель процесу просторового планування будівельного проєкту

Як приклад на підставі сформованої структурно-функціональної моделі та формальних описів складових процесу просторового планування розроблено концептуальну модель ЄІС на основі п'яти різних джерел первинних даних (рис. 2.6). Суб'єкти формування інформаційних ресурсів по кожному з п'яти джерел даних вивчають наявні просторові предмети з галузевих кадастрових та інформаційних служб та формують тематичні первинні дані про них - D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 , створюючи тематичні набори просторої інформації про геометричні характеристики просторових предметів - $Ip_1, Ip_2, Ip_3, Ip_4, Ip_5$ та їх атрибутивні (негеометричні) характеристики - $Ia_1, Ia_2, Ia_3, Ia_4, Ia_5$ для розв'язання завдань просторового планування певного кола споживачів. З використанням просторової та атрибутивної інформації можуть створюватися тематичні ІМ ОПП (M_2, M_3, M_4), формуватися результати просторового аналізу (A_3 та A_5), розроблятися проекти планувальних рішень щодо перетворення території (R_4 та R_5) та візуалізуватися у цифровому вигляді для суб'єктів споживання рішень (C_2, C_3, C_4).

Результати множини вивчень у вигляді сукупності тематичних наборів просторової інформації, інформаційних моделей ОПП, результатів просторового аналізу, проектів планувальних рішень, а також цифрових моделей ОПП становлять зміст *єдиного інформаційного середовища*, який певною мірою відображає моделюючі властивості території та визначає можливості її перетворення. Таким чином, єдине інформаційне середовище слід розглядати як інтегровану модель території.

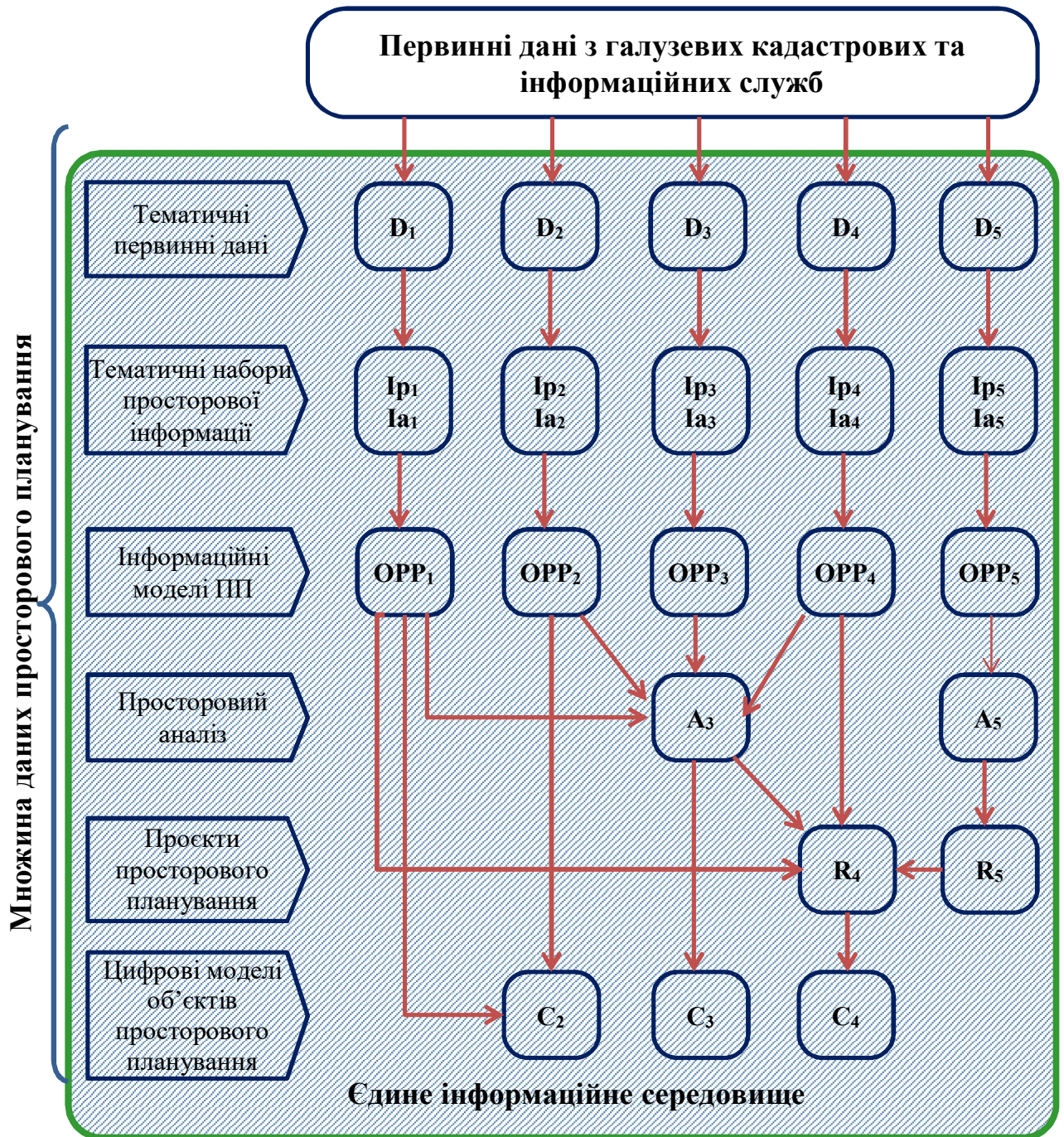


Рис. 2.6. Концептуальна модель ЄІС

Для підготовки планувальних рішень використовуються результати комплексних галузевих досліджень території. Для забезпечення можливості спільного використання результатів різних вивчень території необхідне дотримання вимог їхньої єдності. Якщо забезпечити єдність:

- системи координат,
- системи ідентифікації просторових предметів,
- форматів геометричних та топологічних даних,
- систем класифікації та кодування інформації про типи предметів,

то такий інформаційний простір може бути названий **єдиним інформаційним середовищем (ЄІС)** території, який може бути описаний таким виразом:

$$G = \{Data, Tools\}, \quad (2.16)$$

де G – ЄІС; $Data = \{D, I, M, A, R, C\}$, $Tools$ – множина засобів трансформації множини $Data$.

Концепція єдиного інформаційного середовища просторового планування базується на об'єктивній необхідності об'єднання результатів вивчення території різними галузевими операторами, що дозволяє уникати протиріч, помилок та колізій під час прийняття планувальних рішень. Тому єдиний інформаційний простір за своєю суттю має бути деякою інтегрованою моделлю території та основним компонентом інформаційного забезпечення для ОПС.

Виникає необхідність у статичній функціональній структурі інформаційної системи просторового планування території враховувати умови динамічності. Наукові праці [121, 122, 144] описують два джерела динамічності території: об'єктивний і суб'єктивний.

Об'єктивним джерелом динамічності є мінливість стану території, коли в різні моменти часу $t_i \neq t_j$ стан території різний $S_{G(t_i)} \neq S_{G(t_j)}$. Отже, будуть різними множини $Data_{(t_i)} \neq Data_{(t_j)}$ і $F_{(t_i)} \neq F_{(t_j)}$. При цьому ймовірність і швидкість зміни різних ОПП різна, тому модель території, створена в певний

момент часу, в інший момент часу вже не відповідає фактичній території, стає застарілою і менш надійною.

Заходами підвищення надійності у цій ситуації є:

- вивчення території безпосередньо перед розв'язанням задачі з подальшим створенням або оновленням моделей ОПП;
- моніторинг території та корегування моделі території за найбільш значущими ОПП.

Суб'єктивним джерелом динамічності є різноманітність завдань та умов функціонування ІС ПП. З часом споживачі інформації можуть висувати нові завдання та умови (параметри) їх розв'язання. Тоді змінюється процес підготовки планувальних рішень F_p , отже, $F_{p(t_i)} \neq F_{p(t_j)}$ і $F(t_i) \neq F(t_j)$.

Таким чином, з урахуванням динамічності сутність об'єктно-просторової системи OPS , яка відповідає функціонального процесу просторового планування, можна задати таким виразом:

$$OPS = \{G, F(t), T\} \quad (2.17)$$

де G – єдиний інформаційний простір, $F(t) = (Fd, Fi, Fm, Fa, Fp, Fc)_{(t)}$ – перелік технологічних функцій просторового планування, T – функція часу.

Опрацювання джерел інформації [121, 122, 144] дало змогу виявити принципові особливості єдиного інформаційного простору:

1) він містить інформацію про досліджувану територію в упорядкованому вигляді: у вигляді просторової інформації та ОПП, які є інтегрованими моделями просторових предметів однієї або декількох тематичних галузей що відображають основні, необхідні одному або безлічі споживачів властивості геооб'єкту;

2) на відміну від об'єктивної реальності (досліджуваної території) він моделюється і створюється людиною, цим його властивості значною мірою зумовлені залежністю від розв'язуваного завдання;

3) на відміну від опису території, який також є інформаційною моделлю, він є координованим простором: кожен її елемент має координатну прив'язку і має просторово-часові координати;

4) існує тільки в комп'ютерному середовищі, включаючи всі процеси створення, збереження, перетворення, оновлення та використання інформації;

5) призначений для комп'ютерного моделювання для розв'язання задач просторового планування, виявлення територіально розподілених закономірностей та підготовки планувальних рішень з перетворення території.

Отже, єдиного інформаційний простір є сукупністю цифрових описів приватних уявлень досліджуваної території, створених людиною в інформаційному середовищі і призначених для комп'ютерного моделювання при розв'язанні задач просторового планування і розробленні просторово-планувальних рішень.

Відповідно до сформульованого змісту, інформаційний простір, який описує інтегровану модель території, має стати єдиним інформаційним середовищем (ЄІС) для розв'язання завдань просторового планування. Таке ЄІС формується на основі трьох складових:

1) просторової (геометрично-топологічної та атрибутивної) інформації або геоінформації;

2) об'єктів просторового планування (ОПП), які є інформаційними моделями просторових предметів;

3) цифрових моделей об'єктів (ЦМО) та проєктів просторового планування.

Формально ЄІС можна описати таким чином:

$$G = I \cup M \cup C, \quad (2.18)$$

де I – множина просторової інформації, M – множина ОПП, C – цифрові моделі ОПП та проєктів просторового планування.

При цьому базовою, первинною є просторова інформація – упорядкована координована інформація про просторові предмети території, визначена як вхідний матеріал для створення інформаційних моделей просторових предметів та цифрових моделей ОПП на користь одного або декількох споживачів. Складовими елементами територіального простору є просторові предмети. Геоінформація про одиничний просторовий предмет (i_{omn}), є складовим елементом просторової інформації в цілому про територію, тому $i_{opp} \in I$. Таким чином, всі дії (збір, розміщення, зберігання, вибірка) у масиві геоінформації здійснюються на множині I окремих i_{opp} .

На основі геоінформації створюється інформаційна модель території, що представляє сукупність ОПП. Якщо масив геоінформації містить упорядковану інформацію про просторові предмети, то кожна інформаційна модель території містить сукупність інформаційних моделей цих предметів – $o_p (o_p \in M)$. У цьому полягає принципова відмінність інформаційної моделі від геоінформації. При цьому кожний ОПП містить просторову (геометричну та топологічну) інформацію і атрибутивну інформацію про його непросторові властивості, тобто $o_p(o_{pg}, o_{pa})$.

Для побудови окремої ІМ ОПП множина геоінформації може використовуватися частково, не в повному обсязі, а лише як вибірка для деякої частини території. Для побудови контурної частини моделей вибраних просторових предметів використовується просторова інформація в повному обсязі, а з усього об'єму атрибутивної інформації для цих просторових предметів вибирається мінімально необхідна. Таким чином, використовуючи різні вибірки просторової інформації з масиву геоінформації, а також масиву атрибутивної інформації, можна створити множини первинних об'єктів просторового планування – інформаційних моделей просторових предметів. У

цьому випадку кожна інформаційна модель об'єкту просторового планування відповідатиме повній або неповній інформації про просторовий предмет:

$$M_i \supset M \equiv \{o_p\}_i \equiv O_{pg_i} \cup O_{pa_i}, \quad (2.19)$$

при цьому O_{pg_i} і O_{pa_i} являють собою вибірки геометричної інформації і атрибутів просторових об'єктів o_{p_i} з усієї множини M .

В результаті просторового аналізу на множинах первинних інформаційних моделей можна отримати похідні інформаційні моделі. Множина інформаційних моделей, що містяться в інформаційному просторі, включають як первинні, так і похідні моделі, що є результатом виконаного аналізу.

Отже, тепер можна сформулювати основні методологічні принципи формування єдиного інформаційного середовища:

- 1) первинність просторової інформації для розробки інформаційних моделей просторових предметів;
- 2) гнучка організація інформаційного простору;
- 3) чіткий поділ між тематичними галузями виявлення просторових предметів для просторового планування території;
- 4) галузева відповідальність за зміст та якість інформації, інформаційних моделей та цифрових картографічних зображень;
- 5) галузевий моніторинг інформації;
- 6) пооб'єктне здійснення моніторингу змін території;
- 7) поступовість наповнення інформаційного середовища за потребою і можливостями;
- 8) облік динамічності.

2.4. Концептуальна модель і базова архітектура єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем

ЄІС для вирішення завдань просторового планування формується на основі комплексної обробки просторової та семантичної (атрибутивної) інформації про територію будівельного проєкту та прилеглі території (рис.2.7).



Рис. 2.7. Модель ОПС будівельного проєкту

Формалізація функціональних процесів просторового планування виявила, що вивчення територій виконується різними галузевими суб'єктами формування інформаційних ресурсів за своєю спрямованістю. У зв'язку з тим,

просторові об'єкти (території, будівлі, інженерні споруди, комунікації, елементи ландшафту та благоустрою тощо) вивчаються різними фахівцями і інформація про них зберігається в різних джерелах даних і розподілена по окремим галузевим службам, дуже важливо, щоб уявлення різних учасників про окремі елементи просторових об'єктів та їх характеристики були об'єднанні і становили цілісну картину для розв'язання задач, пов'язаних з просторовим плануванням території будівельного проєкту. При цьому необхідно прагнути до формування єдиного інформаційного середовища в галузі просторового планування, яке б створювало сукупність окремих компонентів, кожен з яких містить повну інформацію рівня суб'єкту будівельного проєкту. У той же час суб'єктові компоненти повинні створюватися таким чином (організаційно, структурно, технологічно), щоб їх об'єднання в ЄІС надавало можливість здійснювати якісне управління будівельним проєктом.

Для формування ЄІС доцільно використати моделєорієнтований підхід, який розглядає ОПП як систему і враховує на кожному етапі життєвого циклу інформаційний набір даних залежно від вимог проєкту будівництва та переліку розв'язуваних завдань щодо планування територіального простору.

Відповідно на кожного етапу життєвого циклу об'єкта формується інформаційна модель із необхідним рівнем опрацювання та деталізації. Накопичення знань є невід'ємною складовою процесу моделювання на будь-якому етапі життєвого циклу об'єкта. Структура моделі формується на основі базового набору метаданих згідно класу ОПП.

Конкретизація умов та сфери застосування розроблюваної інформаційної моделі визначається різними потребами користувачів, що передбачає побудову кількох моделей досліджуваного об'єкта з достатнім ступенем адекватності відповідно до різних точок зору.

Концептуальний аналіз об'єкта просторового планування відбувається в єдиному інформаційному середовищі (рис.2.8) і формується із сукупності точок

зору, що забезпечує процес інтеграції даних з різних джерел і визначає методи та підходи до вивчення життєвого циклу об'єкта та його характеристик.



Рис. 2.8. Базова архітектура єдиного інформаційного середовища

Кожне джерело отримання даних формує інформаційний набір, який визначає спосіб подання та окрему інформаційну модель об'єкта. В результаті розгляду об'єкта з різних точок зору та дослідження різних інформаційних наборів, що описують об'єкт, формується інформаційна модель об'єкта для розв'язання конкретної задачі просторового планування та визначаються елементи конкретного інформаційного набору. Задача ЄІС – реалізувати процес спільного управління інформацією всіх етапах життєвого циклу об'єкта

та забезпечити спільну роботу користувачів (рис.2.9), при цьому ІМ ОПП в ЄІС набуває нових можливостей (рис.2.10).

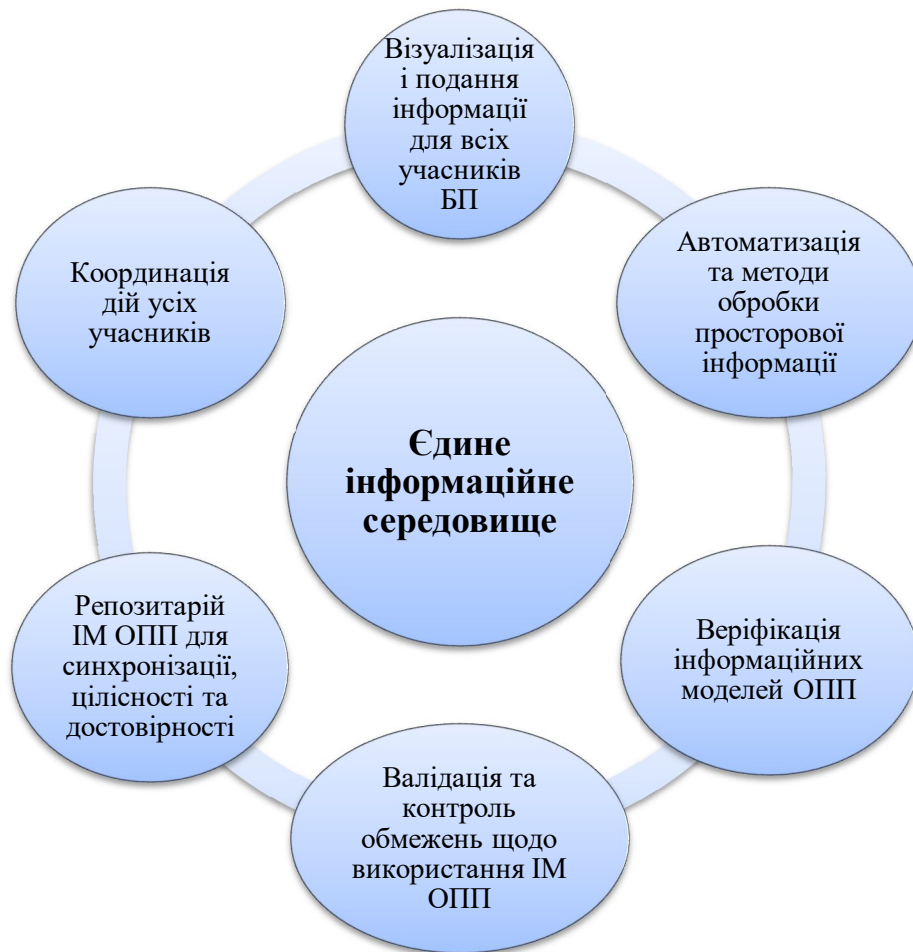


Рис. 2.9. Функціональні задачі єдиного інформаційного середовища

Репозитарій ІМ ОПП БП може бути організований як централізоване сховище, так і як розподілене сховище інформаційних моделей, бібліотек й електронних компонентів. Репозитарій інформаційних моделей має виконувати роль системи моделювання у складі ЄІС та забезпечувати:

- 1) зберігання параметричних моделей;
- 2) контроль версій рівня атрибутів ІМ;
- 3) права доступу до інформації;

- 4) підтримку інтеграції з програмним забезпеченням (ПЗ) різних виробників за стандартизованим інтерфейсом розробника відкритого взаємодії;
- 5) підтримку взаємодії та обміну інформацією між ОПС;
- 6) підтримку інформації протягом життєвого циклу;
- 7) підтримку структурування інформації на основі семантики даних та моделей;
- 8) підтримку управління бізнес-процесами та інформаційними потоками.

У найпростішому випадку сервер інформаційних моделей може бути реалізовано у вигляді структурованого файлового сховища з організованим по ньому пошуком на основі атрибутивних даних. У більш складному вигляді це може бути база даних з аналогічними вимогами щодо пошуку інформації.

Інформаційна модель об'єкту просторового планування:

- Є централізованим джерелом інформації про просторовий об'єкт
- Забезпечує однозначну трансформацію інформації про об'єкт для різних ОПС
- Забезпечує цифрове подання ОПП певного рівня деталізації для систем візуалізації
- Не містить дублюючі набори даних
- Створюється на основі тематичних інформаційних наборів для розв'язання різних задач просторового планування
- Використовується протягом життєвого циклу реалізації БП

Рис. 2.10. Можливості ІМ ОПП в ЄІС

Концепція формування ІМ ОПП в ЄІС представлена на рис.2.11
Інформаційна модель може включати визначення ОПП (ідентифікатор),

інформаційні набори, графічні уявлення, відповідно до інформаційних наборів, аналітичний базис, інструменти і правила трансформації.

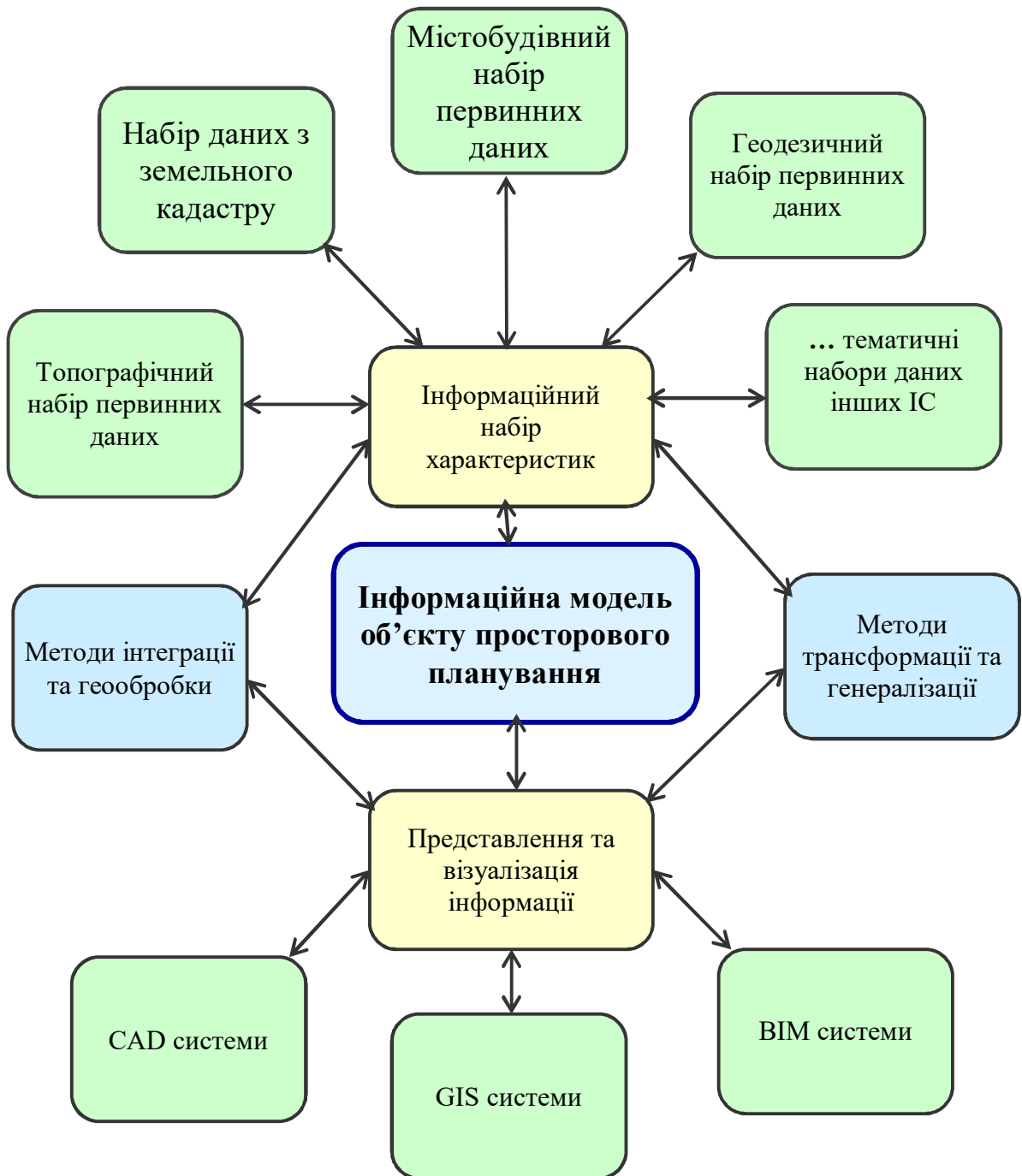


Рис.2.11. Концепція формування ІМ ОПП в ЄІС

Інформаційні набори є унікальним описом просторових предметів з урахуванням різних тематичних поглядів і предметних областей, що формують

спосіб представлення ОПП відповідно до задачі просторового планування. Окремий інформаційний набір визначає опис характеристик об'єкта, процесу або явища з різних поглядів та забезпечує можливість однозначної трансформації інформації для її представлення в інший інформаційний набір для забезпечення міждисциплінарного аналізу.

Основне завдання інформаційного набору – ідентифікація ОПП для задачі просторового планування, яка потребує розв'язання, визначення змісту та форми подання інформації. Для розв'язання окремого завдання просторового планування може бути сформовано й збережено у тематичному шарі окремих інформаційних наборів, що містять дані з інших інформаційних наборів.

Концептуальна структура інформаційного набору ОПП описується таким кортежем:

$$S = \langle IDis, IDt, IDopp, OPP, OPS \rangle, \quad (2.20)$$

де *IDis* – ідентифікатор інформаційного набору, *IDt* – ідентифікатор предметної галузі, *IDopp* – ідентифікатор ОПП, *OPP* – модель ОПП, яка відображає представлення реального геопросторового об'єкту згідно (2.1), *OPS* – модель об'єктно-просторові системи для розв'язання задачі просторового планування.

Галузеві базові набори формують інтегровані моделі для розв'язання окремої задачі. Набори такого типу мають бути засновані на атомарних моделях. Вибіркою атрибутів та параметрів об'єкта з різних інформаційних наборів з урахуванням взаємозв'язків для побудови міждисциплінарного представлення інформації об'єкта є переріз, який дозволяє сформуванню складного інформаційного набору на основі інформаційних наборів у конкретній предметній галузі або інформаційних наборів, сформованих для розв'язання окремої задачі.

Правила генералізації та трансформації визначають однозначне перетворення даних відповідно до вимог розв'язуваного завдання і визначають однозначне цифрове подання інформації для візуалізації даних.

Трансформація інформації визначає правила перетворення інформаційних наборів у різні форми подання інформації: формати даних, графічне подання різного рівня деталізації тощо.

Завдання, які вирішуються трансформацією інформації:

- 1) однозначне перетворення інформаційних наборів з одного в інший, у деяких випадках, двоспрямоване перетворення;
- 2) визначення інструменту та способу перетворення даних;
- 3) забезпечення подання інформації в різних видах незалежно від способу зберігання даних в інформаційному наборі.

Генералізація інформації визначає правила відбору і узагальнення параметрів ОПП та їх характеристик, що відображаються в моделях.

Базовий життєвий цикл (ЖЦ) ОПП включає 12 стадій: Ідея, Концепція, Планування, Вимоги, Проєкт, Перевірка на відповідність вимогам, Реалізація, Валідація та Верифікація, Експлуатація, Накопичення знань, Модернізація, Виведення з експлуатації (рис. 2.12). Деякі стадії можуть виконуватися одночасно, з накладенням або послідовно, що залежить від типу об'єкта, середовища чи проєкту. На кожній стадії життєвого циклу здійснюється менеджмент знань. Стадії ЖЦ об'єкта чи середовища відображають стан об'єкта та його зміни. Етапи ЖЦ об'єкта чи середовища можуть входити до складу стадій проєкту будівництва та передбачають виконання певного обсягу робіт протягом обмеженого часу. Процеси ЖЦ відображають ті дії, які повинні обов'язково виконуватися системою для забезпечення ефективної діяльності; визначаються як сукупність взаємозалежних процесів, що перетворюють вхідні дані у вихідні; тому одні й самі процеси можуть виконуватися на етапах ЖЦ.

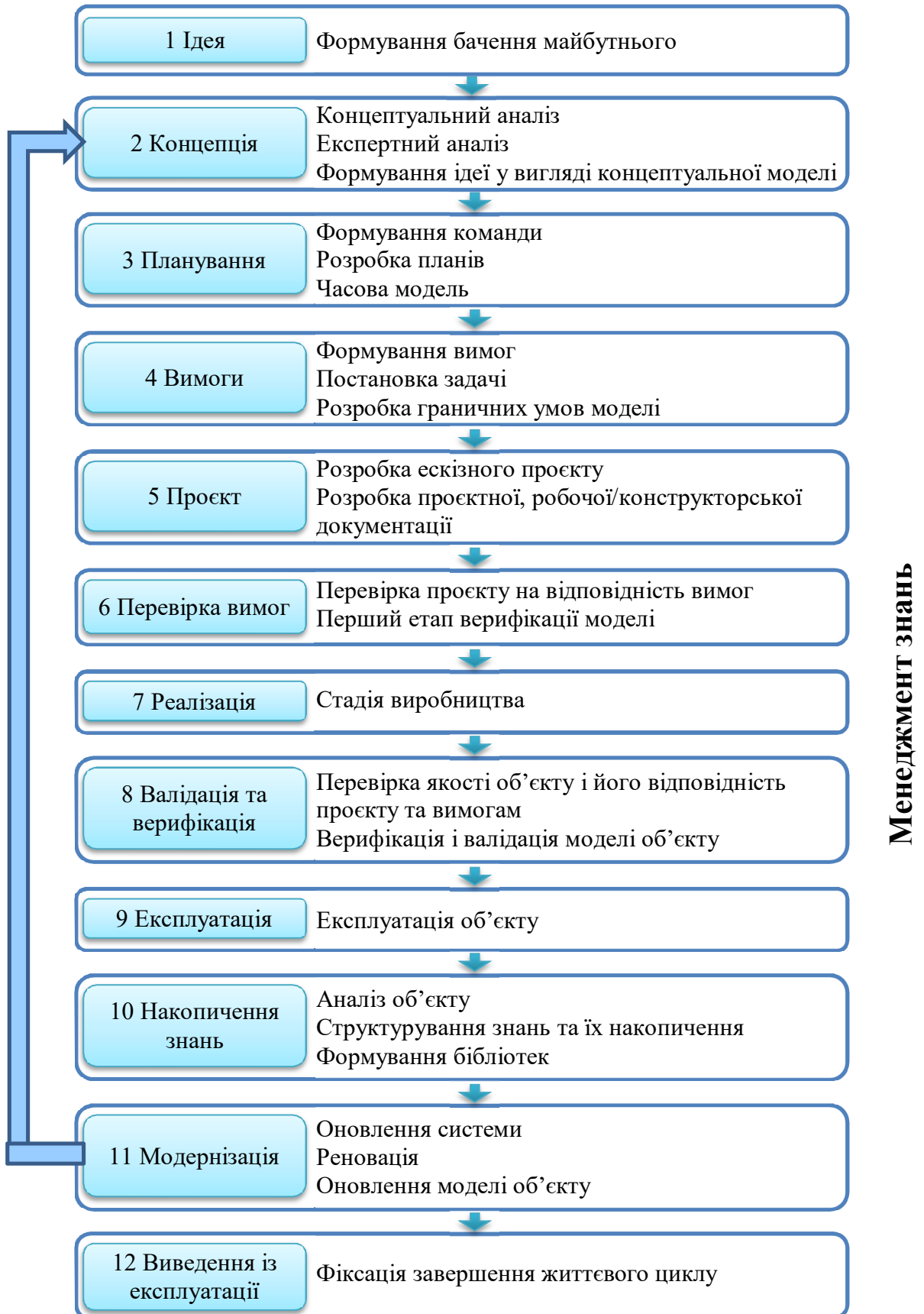


Рис. 2.12. Життєвий цикл ІМ ОПІ

Доцільно визначити основні задачі, які потребують автоматизації і які пов'язані з просторовим плануванням території або моделюванням урбанізованого середовища і міських об'єктів. Саме такі задачі потребують застосування ЄІС для розв'язання:

1) **Просторова міждисциплінарна координація та виявлення колізій між об'єктами просторового планування.** Координація різних аспектів проектування, таких як архітектура, інженерія, містобудування, для забезпечення їхньої гармонії та виявлення можливих конфліктів між різними елементами проекту на ранньому етапі;

2) **Розробка та порівняння варіантів планувальних рішень для обґрунтування інвестицій у будівництво.** Аналіз різних планувальних опцій та їх вплив на економіку проекту, з метою вибору найбільш ефективного варіанту для інвестування;

3) **Комплексний розвиток території.** Планування та реалізація проектів, що враховують різні аспекти – від екології до соціально-економічного розвитку, з метою створення збалансованого та сталого розвитку території.

4) **Розробка інфраструктурних проєктів.** Планування та проектування об'єктів інфраструктури, таких як дороги, мости, комунальні мережі, з метою підтримки функціональності та розвитку міського середовища.

5) **Розробка проєктів ревіталізації території.** Відродження занедбаних або невикористаних міських зон через нові планувальні та архітектурні рішення, з метою покращення якості життя та економічного розвитку.

6) **Розробка генерального та детального планів території.** Створення широкомасштабних та деталізованих планів для розвитку та управління міськими просторами, з визначенням зонування, використання землі, інфраструктурних потреб тощо.

7) **Вибір території під забудову на етапі інвестицій.** Аналіз та вибір найбільш вигідних територій для розвитку, з урахуванням економічної привабливості, доступності, екологічних та соціальних факторів.

8) **Використання параметрів моделі на етапі експлуатації об'єкта для обслуговування та проведення ремонтних робіт.** Використання даних з моделі будівлі або об'єктів інфраструктури для ефективного планування обслуговування та проведення ремонтних робіт.

9) **Моделювання аварійних ситуацій.** Розробка сценаріїв можливих надзвичайних ситуацій і планування відповідних заходів реагування для забезпечення безпеки.

10) **Цифровізація міського середовища.** Перетворення традиційного міського середовища в цифрове, включаючи використання ІТ-рішень для покращення міського управління, сервісів і якості життя.

11) **Створення цифрового двійника міського об'єкта.** Розробка віртуальних моделей фізичних об'єктів або процесів для аналізу, моніторингу та прогнозування їх роботи та впливу на навколишнє середовище.

Для вирішення вищеперерахованих задач розробляються об'єктно-просторові системи (рис. 2.13), які використовують інформаційні моделі об'єктів просторового планування як централізоване джерело інформації про реальний геооб'єкт або просторовий предмет. Інформаційна модель також забезпечує однозначну трансформацію інформації про об'єкт для різних об'єктно-просторових систем.

На рис. 2.14 представлена логічна структура ІТ формування ЄІС, рис.2.15 демонструє основні методологічні компоненти формування ЄІС для автоматизації ОПС за підсистемами інформаційної технології.

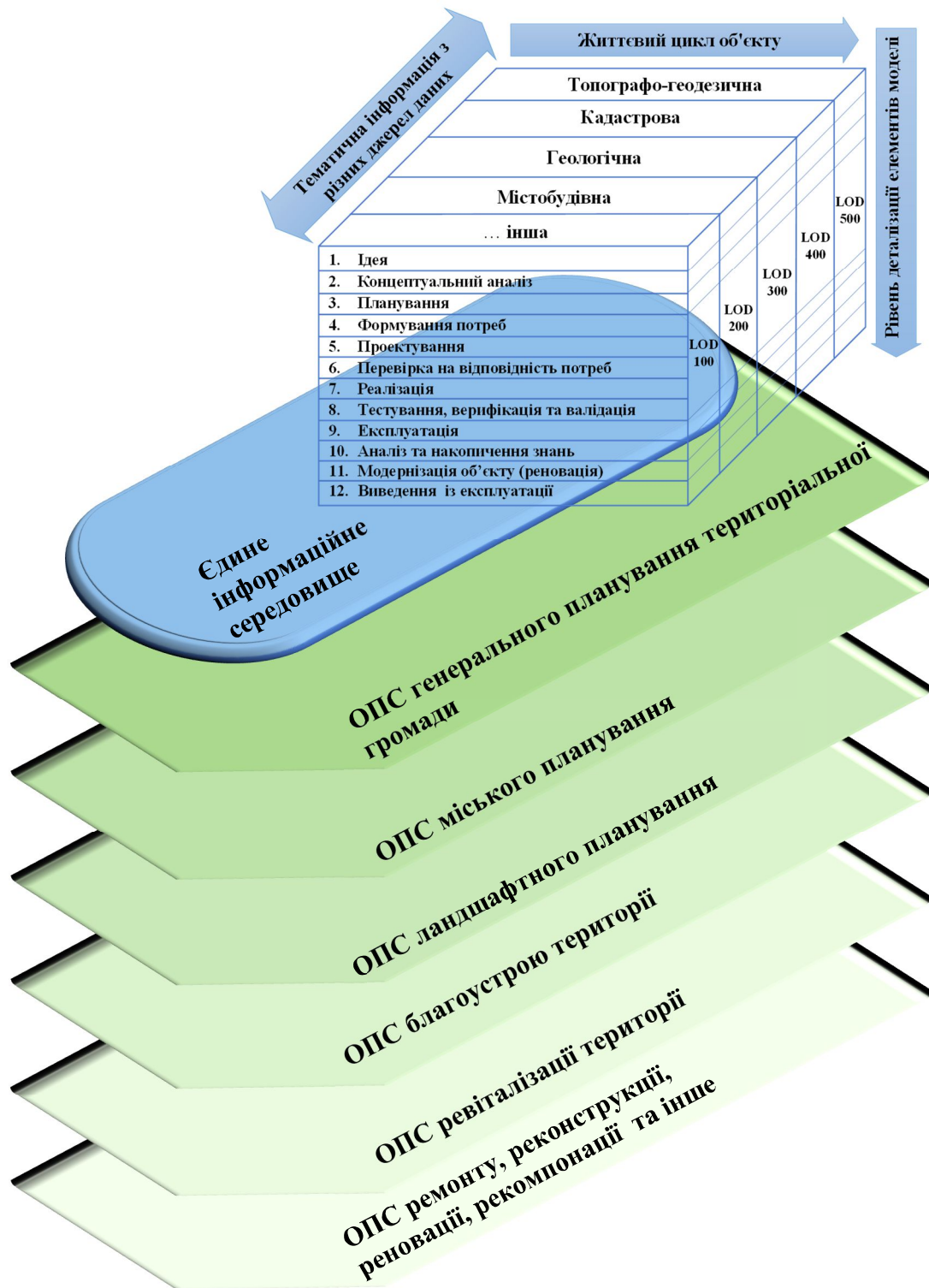


Рис. 2.13. Схема варіантів об'єктно-просторових систем на основі єдиного інформаційного середовища

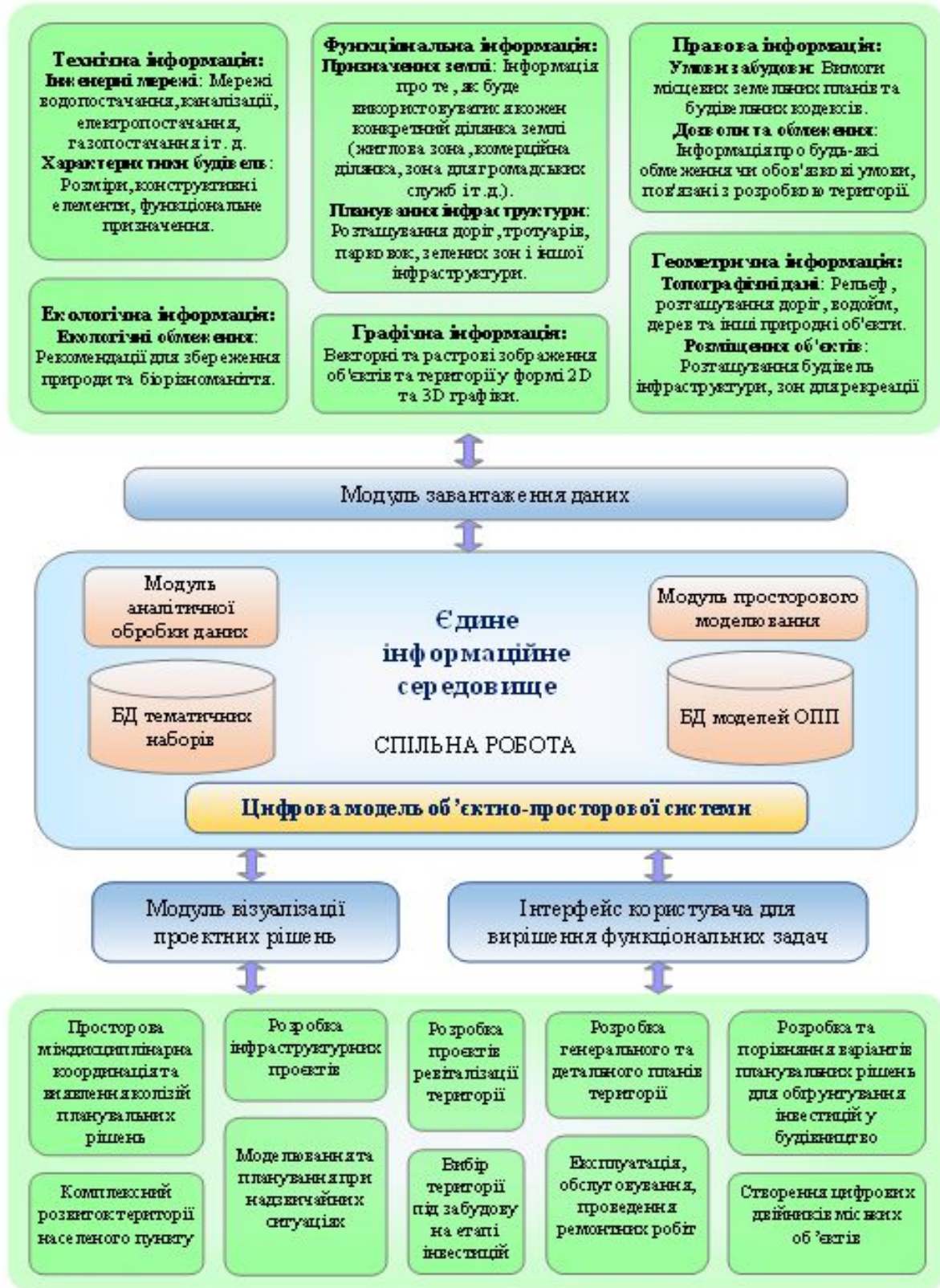


Рис. 2.14. Логічна структура ІТ формування ЄІС

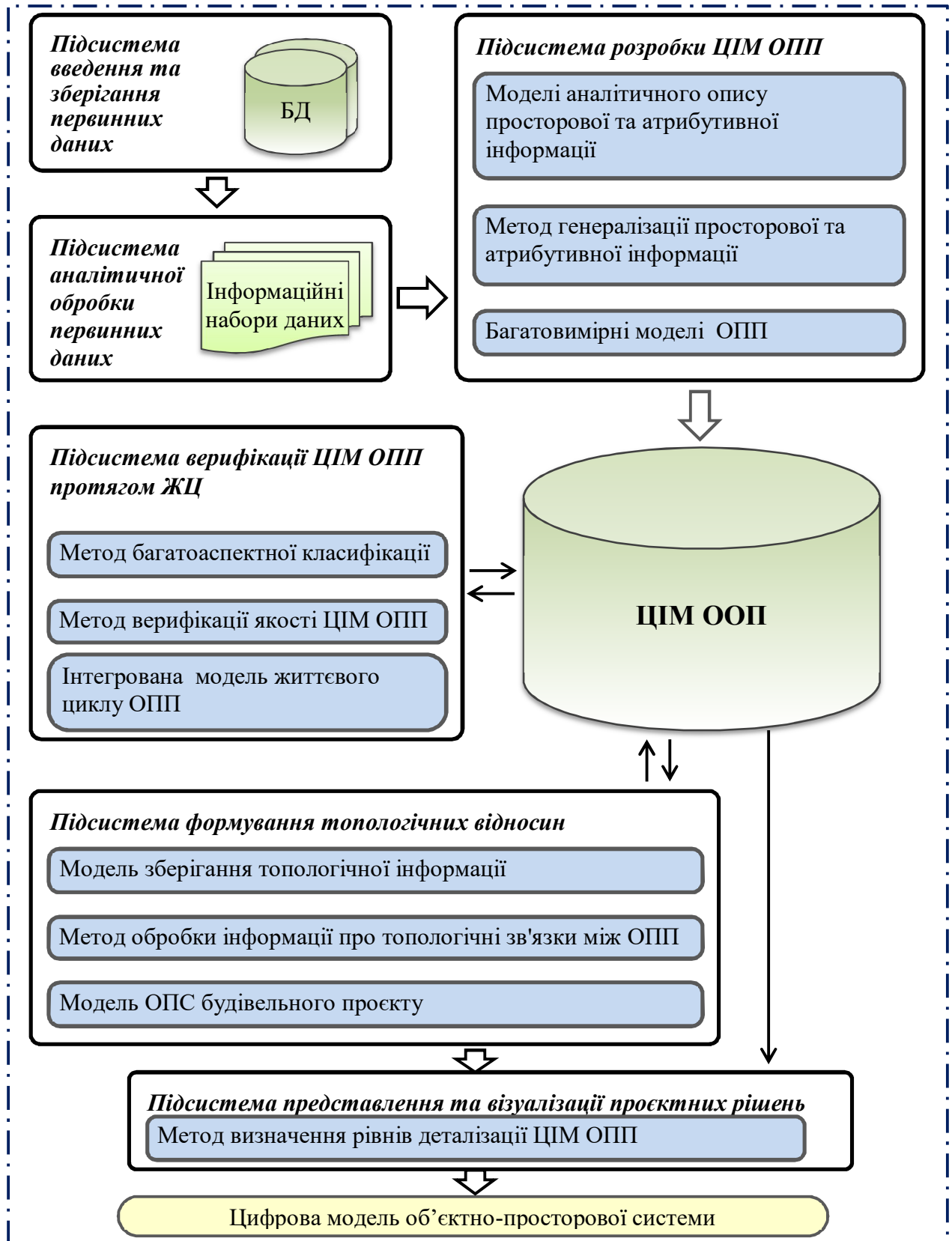


Рис. 2.15. Методологічні компоненти формування ЄІС

Висновки до розділу 2

1. Здійснено налаштування онтологічних та методологічних дефініцій відповідно до формату та змісту дослідження

2. Як методологічна база розробки моделей ОПП використано об'єктно-орієнтований підхід, відповідно до якого всі об'єкти поділяються на класи. Визначено загальне правило побудови ІМ ОПП, яке потребує визначення класу об'єкту просторового планування, що складається з геометричного подання та набору атрибутивних характеристик. Набір характеристик для просторового представлення об'єктів формується з даних, які походять з різних тематичних джерел даних – геодезичних, геологічних, кадастрових та інших. Кожен клас ОПП відбиває деякі загальні ознаки та елементи поведінки реальних геооб'єктів.

3. Розроблено структурно-функціональну модель процесу просторового планування та модель об'єктно-просторової системи (ОПС), які дозволили сформувавши концептуальну модель та архітектуру єдиного інформаційного середовища для міждисциплінарного аналізу об'єктів просторового планування (ОПП), що забезпечує спільну роботу суб'єктів споживання інформації та дозволяє уникати протиріч, помилок та колізій під час розробки проєктів планувальних рішень.

4. Розроблена узагальнена ІМ ОПП на ґрунті міждисциплінарного підходу на основі агрегації базової та тематичної інформації з різних джерел даних та сформовані основні класи ОПП з наборами атрибутів, склад яких визначається директивними загальнодержавними системами класифікації об'єктів у відповідних галузевих реєстрах та кадастрах. Структура бази геоданих містобудівної документації щодо ОПП є складно упорядкованою, оскільки вона включає різноманітні типи атрибутів, які охоплюють геометричні та семантичні властивості. Для ефективного управління аналізу даних ці

атрибути розділені на базові та другорядні набори, структура яких залежатиме від специфіки задач, які потрібно вирішувати.

5. Сформульовані основні методологічні засади формування єдиного інформаційного простору для об'єктно-просторових систем. На основі просторової інформації формуються інформаційні моделі просторових предметів, створення яких зводиться до формування об'єктів просторового планування (ОПП), що задовольняють принципам побудови та вимогам єдиного інформаційного середовища. В основі процесу формування ОПП лежить принцип об'єднання геометричних, топологічних та атрибутивних даних в єдиній моделі.

6. Визначені основні методологічні компоненти формування ЄІС для автоматизації ОПС, які будуть розроблені в наступних розділах: моделі аналітичного опису просторової та атрибутивної інформації, метод генералізації просторової та атрибутивної інформації, багатовимірні моделі ОПП, метод багатоаспектної класифікації ЦІМ ОПП, метод верифікації якості ЦІМ ОПП, інтегрована модель життєвого циклу ЦІМ ОПП, модель зберігання топологічної інформації, метод обробки інформації про топологічні зв'язки між ОПП, модель ОПС будівельного проєкту та метод визначення рівнів деталізації ЦІМ ОПП.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [236, 258, 261, 264, 266, 274, 287, 289, 299].

РОЗДІЛ 3. АНАЛІТИЧНИЙ БАЗИС ІНТЕГРОВАНОГО ОПИСУ ТА ОБРОБКИ ПРОСТОРОВОЇ, АТРИБУТИВНОЇ ТА ТОПОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

3.1. Формалізація інтегрованого опису просторової та атрибутивної інформації на основі багатовимірних інформаційних об'єктів для створення моделей ОПП

Результати дослідження предметної області встановили, що процес просторового планування територій здійснюється на різних організаційних рівнях (державному, регіональному, місцевому), кожен з яких вимагає власного рівня деталізації ІМ ОПП. Об'єктно-просторові системи для обробки просторової інформації будуються за ієрархічним принципом з різним ступенем опрацювання інформаційних моделей та генерують управлінське рішення на кожному організаційному рівні. Необхідно визначити типи структур для зберігання і аналітичної обробки цієї інформації в ЄІС.

Найбільш поширене в даний час отримав механізм зв'язування геометричних та атрибутивних геопросторових даних, що окремо накопичуються у територіальному банку даних інформаційного простору, який складається з двох частин – із просторового банку геометричних даних, в якому зберігається інформація про просторову прив'язку об'єктів території та атрибутивного банку даних. Принциповими моментами даного механізму є спосіб підключення атрибутивної інформації, тип її прив'язки до об'єктів банку даних та спосіб програмної реалізації зв'язування даних ГІС з даними СУБД. Розроблені підходи до процедур зв'язування атрибутивної та геометричної просторової інформації та формування ОПП загалом відображають сутність технологічного процесу створення ОПС з різним об'єктовим складом. Отримана інформаційна модель є інформаційним ядром ЄІС та призначена для

геообробки та відповідає її вимогам. Крім того, вона забезпечує створення цифрових моделей та здійснення геомоніторингу.

Для розв'язання задачі зв'язування геометричних, топологічних та атрибутивних просторових даних просторового предмету на різних організаційних рівнях пропонується розробити багатовимірну модель ОПП, яка надасть змогу здійснити інтегрований опис і аналітичну обробку геометричної та атрибутивної інформації, що уможливить процес просторового планування території здійснювати на різних організаційних рівнях, кожен з яких вимагає власного рівня деталізації.

Для розв'язання цього проблемного завдання пропонується використати мультиплікативний теоретичний підхід до опису великих обсягів просторової інформації з використанням багатовимірних інформаційних об'єктів (БІО), що дає змогу представити в єдиній формалізованій формі множину ОПП різних типів та описати як окремий параметр, так і таблицю, клас функцій або всю базу даних в залежності від розмірності БІО. Такий підхід відповідає сучасним вимогам інформаційного моделювання в будівництві, що дозволить вирішувати завдання, пов'язані з просторовим плануванням території як окремої адміністративно-територіальної одиниці або у складі комплексного плану розвитку населеного пункту на новому технологічному рівні.

Зміст моделей ОПП формується на основі структури класів за допомогою просторових даних різного геометричного подання: точкові, полілінійні або полігональні з урахуванням їхнього рівня деталізації як багатовимірні просторові об'єкти (БПО) інтегрованого опису та обробки просторової та атрибутивної інформації. Загальна модель опису БПО визначається так:

$$T_i^n \quad (3.1)$$

де T – назва БПО; n – розмірність БПО; i – характеристика геометричного типу (точка, полілінія, полігон).

У загальному випадку БПО розмірності n визначається як впорядкована

множина БПО розмірності $n-1$:

$$T_i^n = \{T_j^{n-1}\}, j = \overline{1, k_n} \quad (3.2)$$

Геометричний опис точкового ОПП може бути представлений за допомогою БПО T_{point}^1 таким чином:

$$T_{point}^1 = \{IDp, X, Y, Z\} \quad (3.3)$$

де X, Y, Z – координати точкового БПО; IDp — ідентифікатор точкового БПО.

Повний опис (рис. 1) точкового об'єкта T_{point}^1 визначається:

$$Point = \{T_{point}^1, A_{point}^1\}, \quad (3.4)$$

де A_{point}^1 є множиною атрибутивних даних ОПП точкового типу.

Points	ID ₁	X ₁	Y ₁	Z ₁	...

	T _{point} ¹				A _{point} ¹

Рис.3.1. Графічна модель БПО для повного опису ОПП точкового типу

Геометричний опис полілінійного об'єкта T_{line}^2 задається послідовністю вузлів та другою розмірністю і визначається БПО T_{line}^2 так:

$$T_{line}^2 = \{IDL, \{T_{point}^1\}_i\}, \quad i = \overline{1, k_p} \quad (3.5)$$

де IDL – ідентифікатор лінійного об'єкта; k_p — кількість вузлів (точок) у полілінії; $\{T_{point}^1\}_i$ – геометричний опис точкового i -об'єкта, який визначає набір значень координат, що характеризують його місце розташування в просторі системи координат та визначається виразом (3.3).

Крім множини вузлів полілінійний ОПП характеризується A_{line}^1 множиною атрибутивних даних.

Повний опис лінійного просторового об'єкту $Line$ визначається:

$$Line = \{T_{line}^2, A_{line}^1\}. \quad (3.6)$$

Повний опис одного ОПП полігонального типу *Polygon* представлений у вигляді БПО T_{polyg}^3 як набір поліліній, що обмежують його контури, A_{polyg}^1 – це множина атрибутивних характеристик, і його повний опис визначається так:

$$Polygon = \{T_{polyg}^3, A_{polyg}^1\} \quad (3.7)$$

де БПО T_{polyg}^3 розмірністю 3 одного полігонального об'єкта, геометричний опис якого визначається так:

$$T_{polyg}^3 = \{IDpl, \{T_{line}^2\}_j\}, \quad j = \overline{1, k_l} \quad (3.8)$$

де *IDpl* – ідентифікатор полігонального об'єкта; k_l — кількість обмежуючих ліній полігона; $\{T_{line}^2\}_j$ – геометричний опис *j*-полілінійного об'єкта, що визначається за формулою (3.5).

Повний опис одного тематичного шару для розв'язання завдань просторового планування доцільно представити у вигляді групи ОПП одного типу: точкових, полілінійних або полігональних за функціональним призначенням (наприклад, інженерна мережа з люками або набір гідрологічних контрольних постів) та з їхніми атрибутивними характеристиками. Тому опис БПО розмірності 2 для одного шару точкових об'єктів визначається так:

$$T_{layer_point}^2 = \{T_{point}^1\}_i, \quad i = \overline{1, n_p} \quad (3.9)$$

n_p — кількість точкових ОПП в одному тематичному шарі.

Для повного опису одного шару полілінійних об'єктів необхідно об'єднати сукупність полілінійних об'єктів, які належать одному шару та їхні атрибутивні характеристики.

Опис БПО розмірності 2 для набору атрибутивних даних ОПП полілінійного типу визначається так:

$$T_{AL}^2 = \{IDL, A_{line}^1\}_j, \quad j = \overline{1, n_l} \quad (3.10)$$

де n_l — кількість лінійних об'єктів.

Опис БПО розмірності 3 одного шару ОПП полілінійного типу

визначається так:

$$T_{layer_line}^3 = \{T_{line}^2\}_j, \quad j = \overline{1, n_l}. \quad (3.11)$$

Оскільки вирази (3.5) і (3.10) є описами БПО різної розмірності, але мають спільний елемент — ідентифікатор ОПП полілінійного типу (IDl), то відповідно до виразу (3.11), вони можуть бути об'єднані в єдиний БПО за цим спільним елементом. Результатом такого об'єднання є розгортка гіперкуба четвертої розмірності БПО одного шару ОПП полілінійного типу (рис. 3.2), яку доцільно описати такою формулою:

$$T_{line}^4 = T_{layer_line}^3 \cup T_{AL}^2, \quad i = \overline{1, n_l}. \quad (3.12)$$

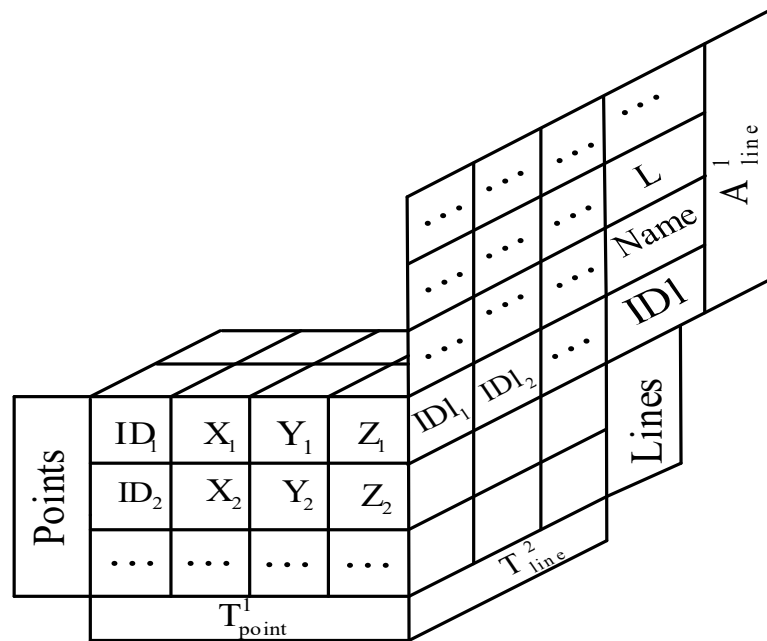


Рис.3.2. Графічна модель розгортки БПО одного шару ОПП полілінійного типу

Для повного опису одного шару ОПП полігонального типу необхідно об'єднати сукупність полігональних об'єктів, включених в цей шар та їхні атрибутивні характеристики аналогічно до описів (3.10)–(3.12). Набір атрибутивних даних для ОПП полігонального типу є об'єднаним БПО розмірності 2:

$$T_{AP}^2 = \{IDpl, A_{polyg}^1\}_k, \quad k = \overline{1, n_{pl}} \quad (3.13)$$

де n_{pl} — кількість полігональних об'єктів.

Опис БПО розмірності 4 для одного шару ОПП полігонального типу визначається виразом:

$$T_{layer_polyg}^4 = \{T_{polyg}^3\}_k, \quad k = \overline{1, n_{pl}} \quad (3.14)$$

Оскільки вирази (3.8) і (3.13) є описами БПО різної розмірності, але мають спільний елемент — ідентифікатор ОПП полігонального типу ID_{pl} , то вони можуть бути об'єднані в єдиний БПО по спільним ідентифікаторам. Результатом такого об'єднання є модель розгортки гіперкуба п'ятої розмірності БПО одного шару полігональних об'єктів (рис. 3.3), яку опишемо такою формулою:

$$T_{polyg}^5 = T_{layer_polyg}^4 \cup T_{AP}^2, \quad k = \overline{1, n_{pl}}. \quad (3.15)$$

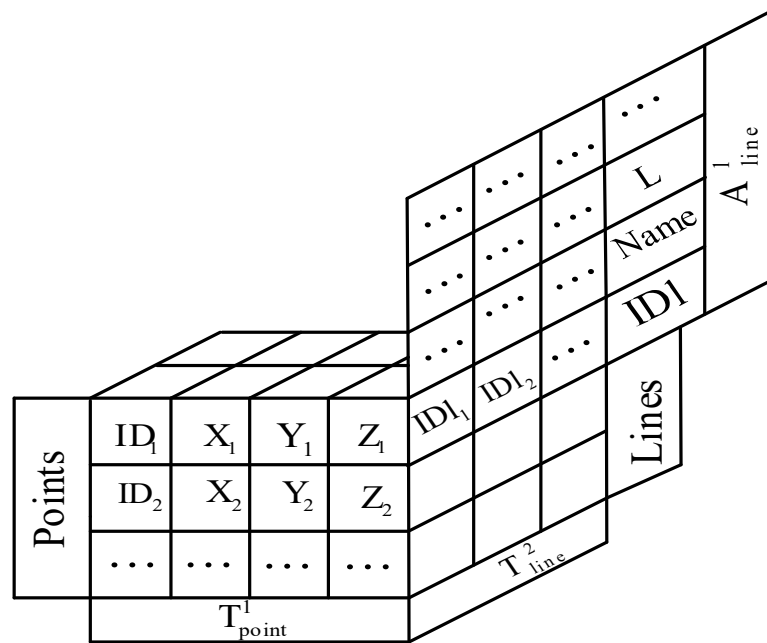


Рис. 3.3. Графічна модель розгортки БПО одного шару ОПП полігонального типу

Задача інтеграції просторової інформації потребує об'єднати ОПП, згруповані в шари з різним рівнем деталізації. Необхідно об'єднати різні типи ОПП, засновані на описах (3.13), (3.14) та (3.15).

При моделюванні території повний опис одного ОПП визначатися одним БПО. Оскільки при інтеграції один ОПП може мати декілька варіантів опису, отриманих з різних джерел даних і визначатися БПО різних розмірностей, то доцільно для спільного опису ОПП в єдиному інформаційному середовищі для розв'язання окремої задачі просторового планування, щоб опис окремого типу ОПП становив один БПО. При такому поданні немає спільності в описі шарів ОПП різних типів геометрії, що ускладнює виконання над ними операцій із перетворення даних.

Для єдиного спільного опису ОПП різних типів необхідно, щоб вони були одного типу, тому для опису внутрішньої структури БПО доцільно визначити поняття структурної схеми S^n , яка представляє собою множину, елементи якої визначають порядок входження БПО меншої розмірності в БПО більшої розмірності:

$$S^n = S(T^n) = \{S(T^{n-1}), S_n\} = \{S^{n-1}, S_n\} = \dots = \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n\},$$

де S_i – i -й елемент структурної схеми S^n .

Структурна схема БПО розмірності n , який позначається як T_i^n , визначається у такий спосіб:

$$S(T_i^n) = S^n. \quad (3.16)$$

Для об'єднання БПО розмірності n з БПО розмірності $(n+1)$ структурна схема БПО T_i^{n+1} виглядає так:

$$S(T_i^{n+1}) = \{S^n, S_{n+1}\} = S^{n+1}. \quad (3.17)$$

Вміст БПО, які описані виразами (3.16) та (3.17) відрізняється одним елементом структурної схеми S_{n+1} . Для того, щоб структурна схема S^n

прийняла форму S^{n+1} , пропонується використовувати новий тип БПО – структурований багатовимірний просторовий об'єкт (СБПО), який позначається як $\tilde{T}^{n,m}$, де n – кількість наявних розмірностей, m – кількість додаткових розмірностей. Такі ОПП відповідають БПО більшої розмірності за структурною схемою і БПО тієї ж розмірності за інформаційним наповненням. Якщо $m = 1$, то СБПО дорівнює $\tilde{T}^{n,1}$. Структурна схема такого СБПО задається так:

$$S(\tilde{T}^{n,1}) = \{S^n, S_{n+1}\} = S^{n+1} \quad (3.18)$$

де S_{n+1} є елементом структурованої схеми БПО розмірності n та відрізняється від структурної схеми БПО, з яким його необхідно об'єднати. У цьому випадку, це БПО, який відповідає елементу схеми S_{n+1} в $\tilde{T}^{n,1}$, який містить порожній набір даних. Така розмірність є фіктивною. Операції додавання розмірності збільшують вимір D_1 , щоб отримати БПО розмірності $(n+1)$:

$$D_1(T^n, S_{n+1}) = T^n \cdot S_{n+1} = \tilde{T}^{n,1} \quad (3.19)$$

Ця операція застосовується водночас лише до одного БПО.

У загальному випадку для отримання СБПО з m фіктивними розмірностями, послідовно застосовуються кілька операцій додавання розмірності. Таку операцію можна формально описати послідовністю виразів:

$$\begin{aligned} D_1(T^n, S_{n+1}) &= T^n \cdot S_{n+1} = \tilde{T}^{n,1} \\ D_1(\tilde{T}^{n,1}, S_{n+2}) &= \tilde{T}^{n,1} \cdot S_{n+2} = \tilde{T}^{n,2} \\ &\dots \\ D_1(\tilde{T}^{n,m-1}, S_{n+m}) &= \tilde{T}^{n,m-1} \cdot S_{n+m} = \tilde{T}^{n,m} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Загальний опис можна представити так:

$$\tilde{T}^{n,m} = D_m(T^n, \{S_{n+i}\}) = T^n \cdot \{S_{n+i}\}, \quad i = \overline{1, m} \quad (3.21)$$

де структурна схема S_{n+1} визначає порядок введення $\tilde{T}^{n,i-1}$ в $\tilde{T}^{n,i}$.

Операція додавання розмірності, дозволяє отримати СБПО будь-якої розмірності, який перевищує розмір початкового БПО. Доцільно розглянути

операцію додавання розмірності для отримання СБПО єдиного опису різних типів ОПП та подання їх у вигляді шарів різних геометричних типів (точкових, полілінійних та полігональних) залежно від рівня деталізації просторової інформації.

Нехай елементарна i -характеристика ОПП об'єкта будь-якого типу (точка, полілінія, багатокутник) описується у вигляді БПО T^0 .

Для опису БПО, пропонується ОПП точкового типу T_{point}^1 як набір характеристик T_i^0 зі структурною схемою S_{point}^1 , яка описує окрему точку як набір значень координат (X, Y, Z) , що характеризує розташування точки в системі координат:

$$T_{Point}^1 = \{T_i^0\} \cdot S_1, \quad i = \overline{1, k_0}, \quad (3.21)$$

де S_1 – список різних характеристик ОПП точкового типу; k_0 – кількість характеристик ОПП точкового типу.

ОПП полілінійного типу пропонується описувати як БПО розмірності 2 T_{Line}^2 із структурною схемою S_{Line}^2 , яка описує полілінію як набір вузлових точок:

$$T_{Line}^2 = \{T_{Point}^1\}_i \cdot S_2, \quad i = \overline{1, k_1}, \quad (3.22)$$

де S_2 – це список вузлових точок; k_1 – це кількість вузлових точок в ОПП полілінійного типу; T_{Point}^1 – це БПО зі схемою S_{point}^1 .

ОПП полігонального типу пропонується описати як БПО розмірності 3 $T_{Polygon}^3$ зі схемою $S_{Polygon}^3$, яка описує полігон як набір замкнутих ліній:

$$T_{Polygon}^3 = \{T_{Line}^2\}_i \cdot S_3, \quad i = \overline{1, k_2}, \quad (3.23)$$

де S_3 – список обмежуючих ліній; k_2 – кількість обмежуючих ліній в ОПП полігонального типу; T_{Line}^2 – БПО зі структурною схемою S_{Line}^2 .

З виразів (3.22) і (3.23) випливає, що схема S_{Line}^2 БПО T_{Line}^2 відрізняється від схеми S_{Point}^1 БПО T_{Point}^1 за списком S_2 . Структурна схема $S_{Polygon}^3$ БПО

$T_{Polygon}^3$ відрізняється від структурної схеми S_{Line}^2 БПО T_{Line}^2 за списком S_3 . Необхідно застосувати операцію додавання розмірності для БПО T_{Point}^1 та T_{Line}^2 , щоб отримати загальний опис для всіх ОПП, які належатимуть моделі однієї території.

Оскільки куб має максимально три виміри, то будь-який ОПП може бути представлений як БПО розмірності 3. Застосувати операцію додавання та отримання СБПО $\tilde{T}_{Point}^{1,2}$ з T_{Point}^1 , описуючи ОПП точкового типу, необхідно ввести для СБПО $\tilde{T}_m^{1,2}$ фіктивні виміри $\{S_2, S_3\}$. Послідовно застосовуються дві операції додавання виміру, визначені (3.20) рівнянням:

$$D_1(T_{Point}^1, S_2) = (T_{Point}^1) \cdot S_2 = \tilde{T}_{Point}^{1,1}$$

$$\tilde{T}_{Point}^{1,1} I_1(, S_3) = (\tilde{T}_{Point}^{1,1}) \cdot S_3 = \tilde{T}_{Point}^{1,2}$$

Результат, визначений за допомогою формули (3.19), такий:

$$D_1(T_{Point}^1, S_2, S_3) = (T_{Point}^1) \cdot \{S_2, S_3\} = \tilde{T}_{Point}^{1,2} \quad (3.24)$$

Структурна схема СБПО для ОПП точкового типу визначається:

$$S_{Point}^{1,2} = \{S_{Point}^1, S_2, S_3\} \quad (3.25)$$

БПО $\tilde{T}_{Line}^{2,1}$ від T_{Line}^2 описує ОПП полілінійного типу з фіктивними вимірами S_3 :

$$I_1(T_{Line}^2, S_3) = (T_{Point}^1) \cdot S_3 = \tilde{T}_{Line}^{2,1} \quad (3.26)$$

Структурна схема СБПО для ОПП полілінійного типу визначається:

$$S_{Line}^{2,1} = \{S_{Line}^2, S_3\} \quad (3.27)$$

У загальному випадку, атрибутивні характеристики ОПП будь-якого геометричного типу (точкового, лінійного, полігонального) описуються БПО розмірності 1. Для спільного опису атрибутивних і просторових даних, необхідно надати цей БПО розмірності 1, який описує атрибутивну інформацію,

до геометричного опису ОПП в СБПО розмірності 3.

Згідно з (3.4), атрибутивні характеристики ОПП точкового типу, описуються БПО розмірності 1 — T_{Am}^1 , зі структурною схемою S_{Am}^1 . Відповідно до (3.6) атрибутивні характеристики ОПП полілінійного типу описуються БЮ першого виміру T_{AL}^1 , зі структурною схемою S_{AL}^1 . Згідно з (3.7) атрибутивні характеристики ОПП полігонального типу описуються БПО T_{AP}^1 із структурною схемою S_{AP}^1 .

Для атрибутивних характеристик ОПП необхідно ввести фіктивні виміри $\{S_2, S_3\}$, які збігаються з (3.4), (3.6) і (3.7). Аналогічно до виразів (3.24)–(3.27) визначаються :

$$D_2(T_{Am}^1, \{S_2, S_3\}) = (T_{Am}^1) \cdot \{S_2, S_3\} = \tilde{T}_{Am}^{1,2} \quad (3.28)$$

$$D_2(T_{AL}^1, \{S_2, S_3\}) = (T_{AL}^1) \cdot \{S_2, S_3\} = \tilde{T}_{AL}^{1,2} \quad (3.29)$$

$$D_2(T_{AP}^1, \{S_2, S_3\}) = (T_{AP}^1) \cdot \{S_2, S_3\} = \tilde{T}_{AP}^{1,2} \quad (3.30)$$

Тепер, описані атрибутивні характеристики БПО мають ту ж саму розмірність, що і описані геометричні характеристики БПО. Отриманий БПО відрізняється тільки одним елементом структурної схеми — списком атрибутів ОПП. Для того щоб отримати спільний опис просторових і атрибутивних даних, необхідно виконати перетворення (3.24)–(3.30). Отриманий результат дозволяє застосовувати операції комбінування БПО різних типів.

На рис. 3.4, 3.5, 3.6 показані графічні представлення моделей повного опису ОПП кожного типу як результат застосування формул (3.28), (3.29) і (3.30). На рис. 3.4 показана графічна інтерпретація СБЮ \tilde{T}_m^3 , що описує ОПП точкового типу. На рис. 3.5 показана графічна інтерпретація СБЮ \tilde{T}_L^3 , що описує ОПП полілінійного типу. На рис. 3.6 показана графічна інтерпретація МБЮ \tilde{T}_p^3 , що описує ОПП полігонального типу.

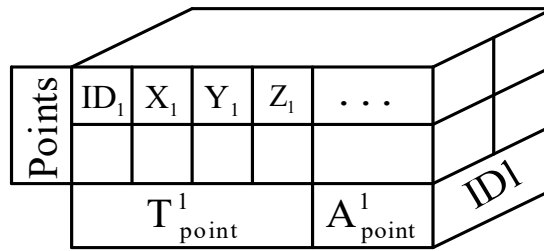


Рис. 3.4 Графічне представлення моделі \tilde{T}_m^3 СБПО розмірності 3 для ОПІ точкового типу

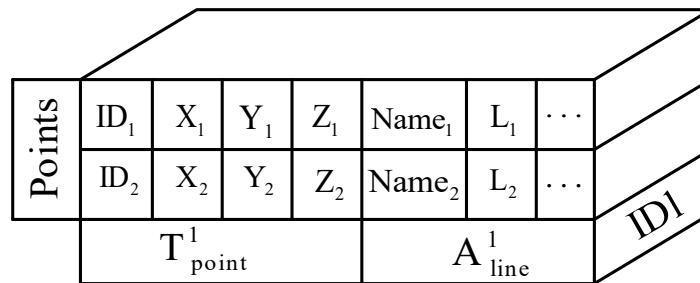


Рис. 3.5. Графічне представлення моделі \tilde{T}_L^3 СБПО розмірності 3 для ОПІ полілінійного типу

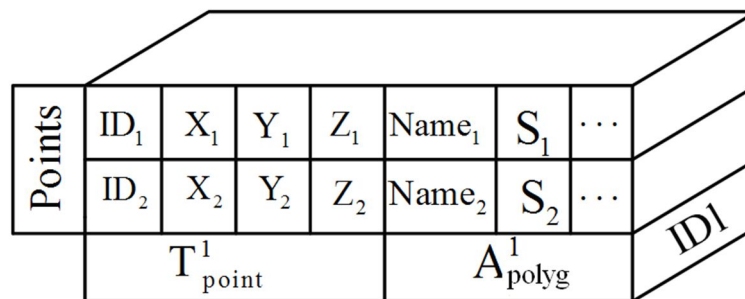


Рис. 3.6. Графічне представлення моделі \tilde{T}_p^3 СБПО розмірності 3 для ОПІ полігонального типу

Повний опис СБПО для ОПІ точкового типу визначається у такий спосіб:

$$\tilde{T}_{Point}^3 = \tilde{T}_{Am}^{1,2} \cup \tilde{T}_{Point}^{1,2}. \quad (3.31)$$

Структурна схема повного опису СБПО точкового типу визначається так:

$$S(\tilde{T}_{Point}^3) = \{S_{Point}, S_2, S_3, S_{Am}\} \quad (3.32)$$

Повний опис СБПО ОПІ полілінійного типу задається у такий спосіб:

$$\tilde{T}_{Line}^3 = \tilde{T}_{AL}^{1,2} \cup \tilde{T}_{Line}^{2,1} \quad (3.33)$$

Структурна схема повного опису СБПО полілінійного типу визначається так:

$$S(\tilde{T}_{Line}^3) = \{S_{Line}, S_2, S_3, S_{AL}\} \quad (3.34)$$

Повний опис СБПО ОПП полігонального типу задається у такий спосіб:

$$\tilde{T}_{Polygon}^3 = \tilde{T}_{AP}^{1,2} \cup T_P^3 \quad (3.35)$$

Структурна схема повного опису СБПО полігонального типу визначається так:

$$S(\tilde{T}_{Polygon}^3) = \{S_{Polygon}, S_2, S_3, S_{AP}\} \quad (3.36)$$

У виразах (3.32), (3.34) та (3.36) $S_{Point} = S_{Line} = S_{Polygon}$ є списками геометричних характеристик ОПП, а $S_{Am} = S_{AL} = S_{AP}$ є списками атрибутивних характеристик ОПП. Доцільно структурні схеми, які є однаковими, об'єднати і позначити як S_{pop} .

Відповідно, структурна схема повного опису СБПО ОПП будь-якого типу буде виглядати таким чином:

$$S(\tilde{T}_m^3) = S(\tilde{T}_L^3) = S(\tilde{T}_P^3) = \{S_{pop}, S_2, S_3\}. \quad (3.37)$$

Оскільки, будь-який ОПП відповідно до (3.31), (3.33) і (3.35), може бути описаний як СБПО розмірності 3, то окремий тематичний шар ОПП може бути представлений у вигляді групи аналогічних об'єктів і їхніх характеристик у вигляді \tilde{T}^4 .

Окремий шар ОПП точкового типу описується у вигляді такого СБПО:

$$\tilde{T}_m^4 = \{\tilde{T}_m^3\}_i \cdot S_4, \quad i = \overline{1, n_1} \quad (3.38)$$

де S_4 – список всіх ОПП на одному тематичному шарі; n_1 – кількість ОПП на одному тематичного шарі.

Окремий шар ОПП полілінійного типу описується у вигляді такого СБПО:

$$\tilde{T}_L^4 = \{\tilde{T}_L^3\}_i \cdot S_4, \quad i = \overline{1, n_2} \quad (3.39)$$

де n_2 – кількість ОПП полілінійного типу на одному шарі.

Окремий шар ОПП полігонального типу описується у вигляді такого СБПО:

$$\tilde{T}_P^4 = \{\tilde{T}_P^3\}_i \cdot S_4, \quad i = \overline{1, n_3} \quad (3.40)$$

де n_3 – кількість ОПП полігонального типу на одному шарі.

На рис. 3.6, 3.7 та 3.8 надані графічні схеми застосування формул (3.38)–(3.40) для описів групи аналогічних ОПП, яка утворює окремий шар у вигляді СБПО. Приховані виміри на схемах показані сірим кольором.

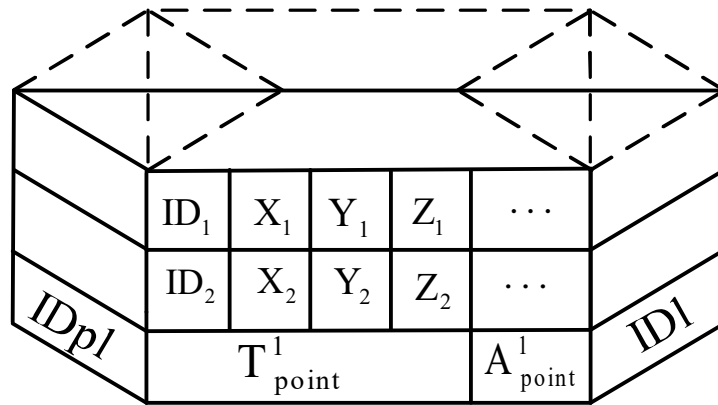


Рис. 3.6. Графічне представлення моделі \tilde{T}_m^4 СБПО розмірності 4 для шару ОПП точкового типу

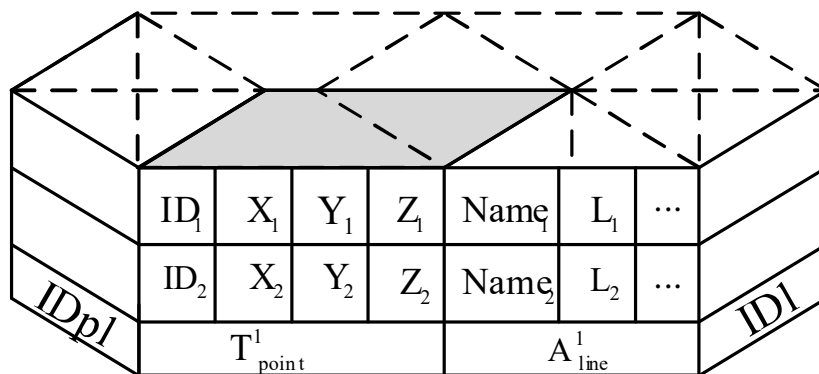


Рис. 3.7. Графічне представлення моделі \tilde{T}_L^4 СБПО розмірності 4 для шару ОПП полілінійного типу

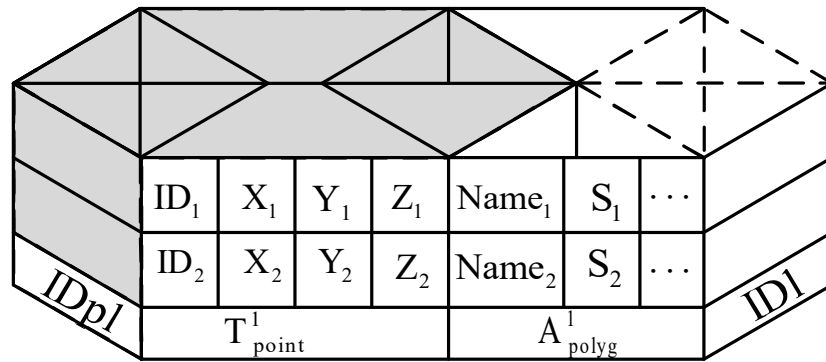


Рис. 3.8. Графічне представлення моделі \tilde{T}_P^4 СБПО розмірності 4 для шару ОПП полігонального типу

Тепер повний опис всіх типів ОПП, згрупованих в шари з однаковим рівнем деталізації (LOD), які належать одній моделі території певного масштабу, може бути представлено у вигляді СБПО \tilde{T}_{LOD}^5 розмірності 5:

$$\tilde{T}_{LOD}^5 = \{ \tilde{T}_m^4, \tilde{T}_L^4, \tilde{T}_P^4 \}_i \cdot S_5, \quad i = \overline{1, n_5}, \quad (3.41)$$

де S_5 – список типів ОПП одного рівня деталізації; n_5 – загальна кількість типів ОПП одного рівня деталізації.

На рис. 3.9 надана графічна схема застосування виразу (3.41) для опису всіх типів ОПП, згрупованих в шари із однаковим рівнем деталізації. Приховані виміри на схемах показані сірим кольором.

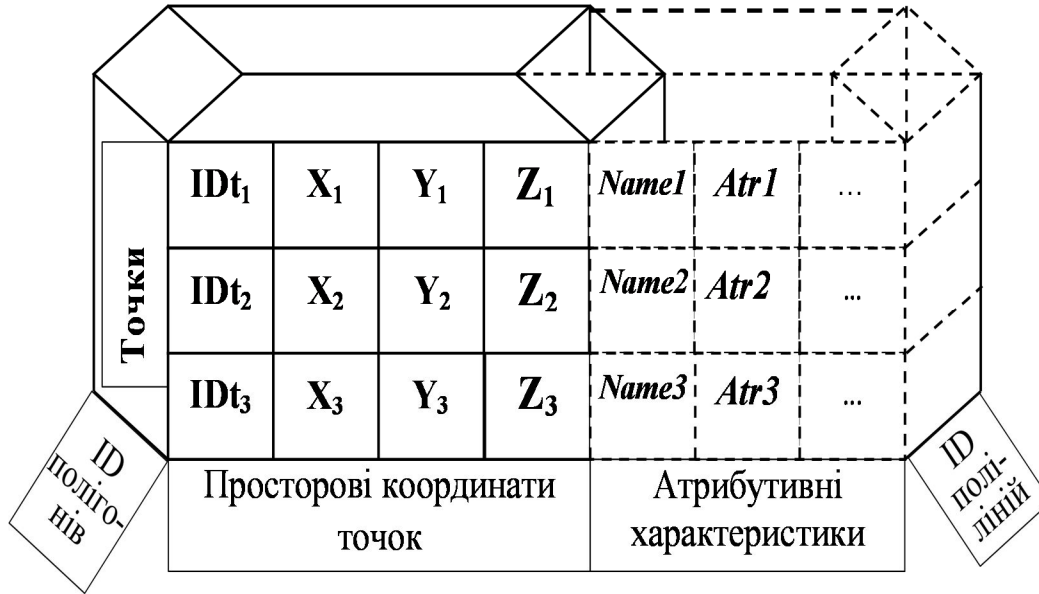


Рис. 3.9 Графічне представлення моделі \tilde{T}_{LOD}^5 СБПО розмірності 5 для всіх типів ОПП одного рівня деталізації

Тепер повний опис ОПП різних рівнів деталізації в залежності від потреб об'єктно-просторової системи можна описати у вигляді СБПО розмірності 6:

$$\tilde{T}_{LOD}^6 = \{\tilde{T}_{LOD}^5\}_i \cdot S_6, \quad i = \overline{1, n_6} \quad (3.42)$$

де S_6 – список рівнів деталізації, n_6 – кількість рівнів деталізації.

На рис. 3.10 надана графічна схема виразу (3.42) для повного опису ОПП різних рівнів деталізації об'єктно-просторової системи.

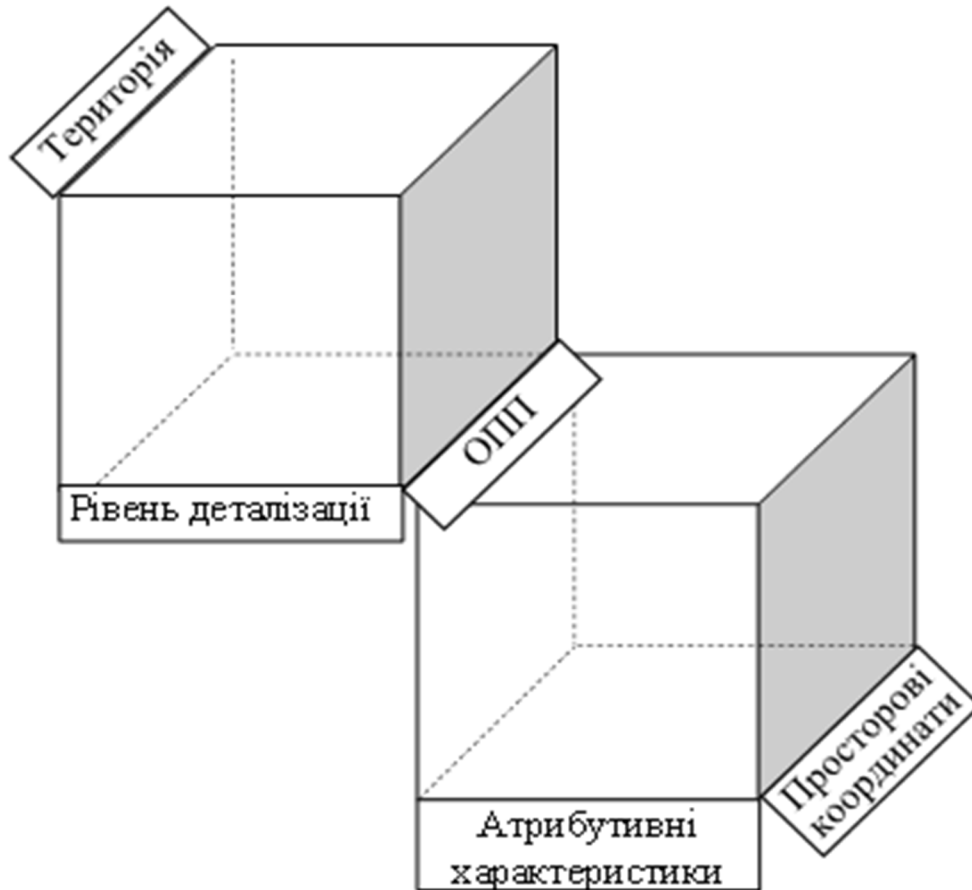


Рис. 3.10. Графічне представлення моделі \tilde{T}_{LOD}^6 СБПО розмірності 6 повного опису ОПП різних рівнів деталізації об'єктно-просторової системи

У табл. 3.1 наведені приклади описів різних типів ОПП.

Таблиця 3.1

Типи ОПП

Назва/тип ОПП	Набір деяких атрибутів ОПП	Опис і тип СБПО
Дерево/ <i>Точковий</i>	ID, геометричні координати, порода, висота, вік, параметри росту	$(IDt, X, Y, Z), (D, H, A, G)$ \tilde{T}_m^3
Водостічна труба/ <i>Полілінійний</i>	ID, множина геометричних координат, назва, призначення, матеріал, діаметр труби	$(IDL, \{X, Y, Z\}, (N, F, M, D))$ \tilde{T}_L^3
Будівля/ <i>Полігональний</i>	ID, множина геометричних координат, статус призначення, номер експлікації, нульова позначка	$(IDpl, \{X, Y, Z\}), (D, N, Z)$ \tilde{T}_p^3

На рис. 3.11 показано практичний приклад інтерпретації моделі СБПО \tilde{T}_m^3 для ОПП точкового типу «Дерево» з табл.3.1.

Trees	<i>IDt</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>A</i>	<i>G</i>	
	<i>1</i>	<i>3.2</i>	<i>5.6</i>	<i>120</i>	<i>oak</i>	<i>9.5</i>	<i>8</i>	<i>0.5</i>	
	T_{tree}^1				A_{tree}^1				
	IDL								

Рис. 3.11. Практичний приклад інтерпретації моделі СБПО \tilde{T}_m^3 для опису ОПП точкового типу «Дерево»

Опис просторових і атрибутивних даних ОПП на основі БПО дає змогу представити кожен тип ОПП як один БПО, домогтися цілісності опису шарів різних типів ОПП, спростити опис структури існуючих баз даних в системах обробки інформації, зробити інформаційну модель даних спостережуваною і зрозумілою.

3.2. Метод генералізації інформації в моделях об'єктів просторового планування

Управління процесом просторового планування здійснюється на різних організаційних рівнях – державному, регіональному, місцевому, тому встановлено, що інформаційне забезпечення ОПП включає територіально розподілені ІС обробки інформації, які будуються на ієрархічній основі з різними рівнями деталізації (LOD) і узагальненням інформації на кожному рівні. Аналіз основних функцій і завдань в області управління територіями існуючих систем обробки інформації [82, 90, 107] виявив, що інформаційні потоки в системі територіального управління спрямовані на вирішення проблем на кожному організаційному рівні і на передаванні необхідної інформації більш високому організаційному рівню. В процесі прийняття рішень щодо вибору території під забудову відбувається дублювання даних в різних, незалежно функціонуючих ІС обробки даних.

На основі формалізованого опису просторової та атрибутивної інформації в п. 3.1 пропонується метод генералізації інформації в моделях ОПП, який за рахунок редагування окремих елементів моделей ОПП як складових ОПС в ЄІС, забезпечує спроможність інтегрувати різнорідну просторову й атрибутивну інформацію на всіх організаційних рівнях управління, зберігаючи при цьому її цілісність.

Перший, найпростіший варіант, коли необхідно змінити один елемент даних в БЮ. Існує деякий n -елемент T_{input}^n , що містить елемент даних T_{input}^i , значення якого має бути змінено на T_{output}^i . T_{output}^i — є результатом застосування до T_{input}^i деякого функціонального перетворення f . Операція C_f^n простої зміни БЮ елемента T_{input}^n визначається результатом застосування того ж розміру БЮ елемента T_{output}^n . T_{output}^n відрізняється від T_{input}^n значенням

деякого елемента даних T_{output}^i , який є результатом застосування функціонального перетворення f . Наприклад, для БЮ виміру 0, операція простої зміни C_f^0 , збігається з функціональним перетворенням f :

$$T_{output}^o = C_f^0(T_{input}^o) = f(T_{input}^o), \quad (3.43)$$

де f — функція перетворення.

Необхідно вказати i -елемент, який необхідно замінити в БЮ T^1 розмірності 1:

$$T^1 = \{T_1^0, T_2^0, \dots, T_i^0, \dots, T_k^0\} \quad (3.44)$$

Перш за все, елемент T_i^0 видаляється з T^1 , який відповідає вказаному i -елементу схеми і містить значення, яке має бути змінено. По-друге, операція (1) простої зміни БЮ застосовується до цього i -елемента:

$$T_{output}^o = C_f^0(T_i^o) = f(T_i^o) \quad (3.45)$$

Коли з'явиться ще один БЮ розмірності $(n-1)$ розмірність n додається до БЮ, порядок елементів у схемі не є суттєвим з точки зору інформаційного наповнення БЮ. Отриманий T_{output}^o додається до кінця T^1 :

$$T_d^1 = T^1 / T_i^0 \quad (3.47)$$

$$T_{output}^1 = C_{fi}^1(T^1) = T_d^1 \cup T_{output}^o = \left(\frac{T^1}{T_i^0}\right) \cup C_f^0(T_i^o), \quad (3.48)$$

Результат застосування (1) простої операції зміни до БЮ T^1 (2) прийме форму:

$$T^1 = \{T_1^0, T_2^0, \dots, T_{k-1}^0, f(T_i^0)\} \quad (3.49)$$

БЮ розмірності 2, визначено:

$$T^2 = \{T_1^1, T_2^1, \dots, T_j^1, \dots, T_k^1\} \quad (3.50)$$

Щоб змінити БЮ T^2 необхідно вказати j -елемент, який необхідно замінити: $T_j^1 = \{T_1^0, T_2^0, \dots, T_i^0, \dots, T_k^0\}$. Аналогічно до формул (3.49)-(3.50), в першу чергу, елемент T_j^1 видаляється з T^2 :

$$T_d^2 = T^2 / T_j^1 \quad (3.51)$$

Далі необхідно вказати i -елемент в T_j^1 , потім потрібно видалити T_j^1 з T_i^0 , що містить значення, яке необхідно змінити:

$$T_{jd}^1 = T_j^1 / T_i^0 \quad (3.52)$$

Тепер застосовується до нього операція простої зміни БЮ:

$$T_{j,output}^1 = C_{fi}^1(T^1) = T_{dj}^1 \cup T_{i,output}^0 = (T_j^1 / T_j^0) \cup C_f^0(T_i^0). \quad (3.53)$$

А потім додається $T_{j,output}^1$ до T_d^2 :

$$T_{j,output}^2 = C_{fij}^1(T^2) = T_d^2 \cup T_{j,output}^1 = (T^2 / T_j^1) \cup C_{fi}^1(T_i^1) \quad (3.54)$$

Наприклад, для БЮ розмірності 3, який описує полігонального об'єкт зі схемою S_{Π}^3 необхідно змінити значення координати Y для першої вузлової точки:

$$T_{\Pi}^3 = \{T_{L1}^2, T_{L1}^2, \dots, T_{Lk}^2\} \quad (3.55)$$

де k — кількість ліній, які обмежують полігональний об'єкт.

Щоб змінити такий БЮ T_{Π}^3 , необхідно вказати елемент, який потрібно змінити. Такий елемент T_{L1}^2 є БЮ розмірності 2, який складається із множини БЮ розмірності 1:

$$T_{L1}^2 = \{T_{p1}^1, T_{p2}^1, \dots, T_{pk_1}^1\} \quad (3.56)$$

де k_l — кількість точок на прямій.

Спочатку з БЮ T_{Π}^3 видаляється T_{L1}^2 :

$$T_{\Pi d}^3 = T_{\Pi}^3 / T_{L1}^2 \quad (3.57)$$

Потім потрібно T_{p1}^1 видалити з T_{L1}^2 :

$$T_{L1d}^2 = T_{L1}^2 / T_{p1}^1 \quad (3.58)$$

Нехай елемент даних T_{A2}^0 буде включений в БЮ T_{p1}^1 :

$$T_{p1}^1 = \{T_{A1}^0, T_{A2}^0, \dots, T_{Ak_2}^0\} \quad (3.59)$$

де k_2 — це число характеристик точки, включаючи нове значення координати Y для першої вузлової точки.

Елемент T_{p1}^1 видаляється з T_{A2}^0 і операція простої зміни БЮ застосовує до неї операцію:

$$T_{P1d}^1 = T_{P1}^1 / T_{A2}^0 \quad (3.60)$$

$$T_{P1,output}^1 = C_{f2}^1(T_{P1}^1) = T_{P1d}^1 \cup T_{A2,output}^0 = \left(\frac{T_{P1}^1}{T_{A2}^0}\right) \cup C_f^0(T_{A2}^0) \quad (3.61)$$

Потім додається елемент $T_{P1,output}^1$ в T_{L1d}^2 :

$$T_{L1,output}^2 = C_{f21}^2(T^2) = T_{L1d}^2 \cup T_{P1,output}^1 \quad (3.62)$$

$$T_{\Pi,output}^3 = C_{f211}^3(T_{\Pi}^3) = T_{\Pi d}^3 \cup T_{L1,output}^2 \quad (3.63)$$

За допомогою БЮ опису різних ОПП просту операції зміни можна описати таким виразом:

$$C_{fl}^0(T_{input}^{n-3}, T_{output}^{n-3}): T_{input}^{n-3} \xrightarrow{\Pi_{S1l}(T_{output}^{n-3})=f(\Pi_{S1l}(T_{input}^{n-3}))} T_{output}^{n-3} \quad (3.64)$$

Відношення (3.64) означає зміну значення атрибута l з цієї схеми S_1 в об'єкті T_{output}^{n-3} , за значенням певного функціонального перетворення f , виходячи зі значення атрибута l з цієї схеми S_1 в об'єкті T_{input}^{n-3} .

Загалом, для БЮ T^n для розмірності n , операція простої зміни визначається рекурсивно так:

$$\begin{cases} T_{output}^n = C_{f,S}^n(T^n) = \left(\frac{T^n}{T_{i_{n-1}}^{n-1}}\right) \cup C_{f,S}^{n-1}(T_{i_{n-1}}^{n-1}), \\ T_{output}^0 = C_f^0(T^0) = f(T^0), \end{cases} \quad (3.65)$$

де $f: x \rightarrow y$ — функція перетворення; y — скалярна величина; $y = f(x)$, $S = \{i_0, \dots, i_{n-1}\}$ — множина елементів відповідних схем S_1, \dots, S_n визначається БІО розмірності 0, який потребує заміни.

Проста операція зміни (3.64) дає змогу оновити значення елементів БІО, але для розв'язання задачі генералізації просторової інформації, необхідно узагальнити деякі елементи даних БІО відповідно до певного правила. Необхідно ввести операцію структурної генералізації, зміст якої полягає в отриманні з БІО розмірності n нового БІО розмірності $(n-1)$ і узагальнити елементи кортежів, зазначених пропущеним виміром, за деяким правилом.

Ця операція позначається G_g^{n-1} і визначається рекурсивно, аналогічно до визначення простої операції зміни (3.65). Однак, оскільки в даному випадку розглядається згортка значень кортежу (вектора) в число, то операція узагальненої заміни завершується $T^1 = \{T_1^0, T_2^0, \dots, T_i^0, \dots, T_k^0\}$. Результатом буде БІО виміру 0:

$$T_{output}^0 = G_f^0(T^1) = f(T_1^0, T_2^0, \dots, T_i^0, \dots, T_k^0) \quad (3.66)$$

де $f: (x_1, \dots, x_k) \rightarrow y$ — функція перетворення; y — скалярна величина, $y=f(x_1, \dots, x_k)$.

У результаті застосування цієї операції до БІО $T^2 = \{T_1^1, \dots, T_{k_1}^1\}$, де k_1 — кількість БІО T_i^1 в T^2 розмірності 2 зі схемою $S^2 = S(T^2) = (S_1, S_2)$, буде отримано БІО розмірності 1 (вектор), що складається з елементів, які дорівнюють значенням функції кожного з них $T_i^1, i = \overline{1, k}$:

$$T_{output}^1 = G_f^1(T^2) = \{f(T_i^1)\} * S_2 \quad (3.67)$$

де S_2 є елементом схеми S^2 .

Для цієї операції важливо, щоб розмірність, визначена елементом схеми S_1 , була зменшена. Це допустимо, оскільки порядок елементів схеми не

важливий, і тому елемент схеми, за яким проводиться узагальнення, можна не вказувати.

Операція генералізації буде використана для складання нового БЮ, оскільки результати функціонального перетворення $f(T_j^1)$ є константами.

Загалом, для БЮ T^n виміру n , узагальнена операція зміни, визначається рекурсивно, аналогічно до визначення простої операції заміни (3.65), і описується так:

$$\begin{cases} T_{output}^{n-1} = G_f^{n-1}(T^n) = \{G_f^{n-2}(T_i^{n-1})\} * S_n, \\ T_{output}^0 = G_f^0(T^1) = f(T_1^0, \dots, T_{k_1}^0), i = \overline{1, k}, \end{cases} \quad (3.68)$$

де k_n – число T_i^{n-1} , $:(x_1, \dots, x_k) \rightarrow y$ – функція перетворення; y – скалярна величина; $y = f(x_1, \dots, x_k)$.

Враховуючи методи для опису різних об'єктів за допомогою БЮ, основний зміст операції узагальненої зміни, може бути описаний наступним співвідношенням:

$$C_{S_1 l}^1(\{T_{input, i}^{n-3}, T_{output}^{n-3}\}): \quad (3.69)$$

$$\{T_{input, i}^{n-3}\} \xrightarrow{\Pi_{S_1 l}(T_{input}^{n-3})=f(\Pi_{S_1 l}(T_{output, 1}^{n-3}), \Pi_{S_1 l}(T_{input, m}^{n-3}))} T_{output}^{n-3}$$

Відношення (23.69) означає заміну значення атрибута l з схеми S_1 в об'єкті T_{output}^{n-3} , на значення певного функціонального перетворення f із значенням атрибута l з цієї схеми S_1 в об'єкті $T_{input, i}^{n-3}$.

Вхідною інформацією для вирішення задачі є просторова інформація, що описує різні ОПП з різним геометричним поданням. В результаті застосування методу необхідно отримати оновлені координати ОПП про просторове розташування з узагальненими атрибутивними характеристиками.

Шар ОПП полігонального типу може бути описаний як БЮ розмірності 4 - T_{II}^4 . Такий БЮ являє собою множину ОПП полігонального типу $\{T_p^3\}$. Кожен з них описує окремий ОПП:

$$T_{\Pi}^4 = \{T_p^3\} = T^3 * S_4 \quad (3.70)$$

де S_4 – набір, який визначає розташування ОПП у відповідному шарі моделі проекту просторового планування.

Шар ОПП точкового типу відповідно до способу опису точкових об'єктів T_t^4 визначається як БІО розмірності 4. Такий БІО являє собою множину ОПП точкового типу $\{\widetilde{T}_t^3\}$, кожен з них описує окремий ОПП:

$$\{\widetilde{T}_t^3\}: \widetilde{T}_t^4 = \{\widetilde{T}_t^3\} = \widetilde{T}^3 * S_4 \quad (3.71)$$

Такий БІО має схему:

$$S^4 = S(T^4) = (S_1, S_2, S_3, S_4) \quad (3.72)$$

де набір $S_1 = \{ \text{Номери вузлових точок контурної лінії} \} = \{ID_t\} = \{1, 2, 3, \dots\}$,

набір $S_2 = \{ \text{Коди рядків} \} = \{ID_l\} = \{513625601, 513625602, \dots\}$,

набір $S_3 = \{ \text{Характеристичні ідентифікатори} \} = \{X, Y, Z, \text{атрибутивні характеристики}\}$, набір $S_4 = \{ \text{Коди полігональних об'єктів} \} = \{ID_P\} =$

$\{71266501, 71266502, \dots\}$.

Комбінація БІО, що описує точковий шар і шар полігональних ОПП описується таким співвідношенням:

$$\widetilde{T}_t^4 \cup T_{\Pi}^4 = T^4 \quad (3.73)$$

Набір ОПП муніципальних утворень (наприклад, житлова забудова міста) може бути описаний у вигляді БІО виміру 5:

$$T^5 = \{T^4\} = T^4 * S_5 \quad (3.74)$$

де набір $S_5 = \{ \text{Area codes} \} = \{ID_R\} = \{100, \dots\}$.

Розв'язання задачі узагальнення даних про розміщення ОПП складається з декількох етапів:

1. Використовуючи узагальнену операцію заміни з множини полігонів, необхідно отримати набір ОПП точкового типу, згрупованих за адміністративними районами, місце розташування яких визначається шляхом

усереднення координат вузлових точок полігонів. Для цього необхідно двічі застосувати операцію узагальненої заміни (3.65) до БІО виміру 5 T^5 . Розміри в оригінальному БІО будуть зменшені і міститимуть номери вузлових точок контурної лінії полігона та номери ліній, що його обмежують:

$$\begin{cases} T_{output}^4 = G_f^4(T^5) = \{G_f^3(T_i^4)\} * S_5, \\ T_{output}^1 = G_F^1(T^2) = \{f_1(T_{1,1}^0, \dots, T_{1,k_1}^0)\} * S_2, \end{cases} \quad (3.75)$$

де k_1 – кількість БІО T_1^0 , що містять просторову інформацію; функція $f_1: (x_1, \dots, x_k) \rightarrow y$:

$$y = f_1(x_1, \dots, x_k) \frac{x_1 + \dots + x_k}{k} \quad (3.76)$$

$$\begin{cases} T_{output}^3 = G_f^3(T^4) = \{G_f^2(T_i^3)\} * S_4, \\ T_{output}^1 = G_F^1(T^2) = \{f_1(T_{2,1}^0, \dots, T_{2,k_2}^0), f_3(T_{3,1}^0, \dots, T_{3,k_3}^0)\} * S_2 \end{cases}$$

де k_2 – кількість БІО T_2^0 , що містять просторову інформацію; k_3 – кількість БІО T_3^0 , що містять атрибутивну інформацію, функція $f_3: (x_1, \dots, x_k) \rightarrow y$:

$$y = f_3(x_1, \dots, x_{k_3}) = x_1 + x_2 + \dots + x_{k_3} \quad (3.77)$$

2. Необхідно знову застосувати операцію узагальненої зміни (3.65) для отримання набору точок, що описують ОПП полігонального типу для кожного району, одержані у попередньому етапі. Отриманий набір містить коди спільних атрибутивних характеристик для кожної території. Таким чином, застосовуючи операцію узагальненої заміни (3.65) до T_{output}^3 , вимір, що містить коди ОПП зменшується. Виходить новий БІО T_{output}^2 , який описує набір точок, що містять атрибутивні характеристики ОПП відповідно до їхніх координат.

$$\begin{cases} T_{output}^2 = G_f^2(T^3) = \{G_f^1(T_i^1)\} * S_3, \\ T_{output}^1 = G_F^1(T^2) = \{f_1(T_{4,1}^0, \dots, T_{4,k_4}^0), f_3(T_{5,1}^0, \dots, T_{5,k_5}^0)\} * S_2 \end{cases} \quad (3.78)$$

де k_4 – кількість БІО T_4^0 , що містить просторову інформацію; k_5 – кількість БІО T_5^0 , що містять атрибутивну інформацію.

Опис узагальненої операції зміни у вигляді (3.69) дає змогу обробляти різні елементи даних з використанням різних перетворень. В ІС обробки просторової інформації існують завдання, які передбачають обробку і узагальнення даних між організаційними рівнями для ОПП, що описують одні й ті ж явища будівельного проєкту.

Операція узагальненої заміни (3.69) використовується для обробки лише елементів даних, що описують ОПП. Дана операція застосовується для отримання узагальнених даних про ОПП не на рівні окремого кластеру території, а на рівні розробки генерального плану міста. Щоб розв'язати задачі узагальнення такого роду, необхідно визначити ще одну операцію заміни БЮ, яка буде називатися просторовим узагальненням. Основними відмінностями просторового узагальнення від операції узагальненої зміни (структурного узагальнення) є наступні фактори. Результатом застосування операції просторової генералізації набору БЮ, кожен з яких має розмірність n , є БЮ тієї ж розмірності. Відбувається перетворення всього об'єкта, яке називається геообробкою. Позначимо це перетворення як:

$$g = \{F_S, F_A\}, g: \{T_i^3\} \rightarrow T^3, \quad (3.79)$$

де F_S — функція просторового перетворення, F_A — набір функцій перетворення елемента даних.

Відмінність цих перетворень від набору функцій F з (26) полягає в тому, що просторове перетворення, через його складність, не може бути розділене на перетворення окремих елементів даних, що зберігають значення координат. Наприклад, спостерігається зниження деталізації об'єктів при переході з місцевого рівня управління на регіональний. Операція просторової генералізації визначається такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned} T_{output}^{n-1} &= G_g(T^n) = \{G_g(T_j^{n-1})\} * S_n, \\ T_{output}^3 &= g(\{T_i^3\}), \end{aligned} \quad (3.80)$$

де $j = \overline{1, k_n}$, k_n — кількість T_j^{n-1} , g — функція геообробки.

Як приклад такого просторового узагальнення розглянемо задачу формування узагальнених показників для ОПП на рівні територіальної адміністрації міста. Такому відомству підпорядковані також територіальні районні адміністрації.

За кожною територіальною районною адміністрацією закріплена підконтрольна територія, на якій розташовано множина міських об'єктів. Вихідні дані являють собою набір інформації про адміністративні райони, розташовані в зоні відповідальності територіальної адміністрації. Кожен генеральний план просторого планування забудови району може бути описаний як полігональний об'єкт, який визначається як БЮ $T_{k,i}^3$. В результаті перетворення необхідно отримати полігональний об'єкт, що описує генеральний план міста і містить характеристики всіх генеральних планів районів. Позначимо полігональний об'єкт для генерального плану міста як БЮ T_{TY}^3 виміру 3:

$$T_{TY}^3 = g(\{T_{k,i}^3\}), \quad (3.81)$$

де k — кількість муніципальних генеральних планів, і g — функція геообробки, яка визначається, згідно з рівнянням (35) так:

$$g = \{F_S, F_A\} \quad (3.82)$$

Просторове перетворення F_S визначає операцію об'єднання полігонів, оскільки множина меж адміністративних районів визначає полігон зони відповідальності територіальної адміністрації, а перетворення $F_A = \{f_i\}$ складається з таких функцій, що:

$$\begin{aligned} f_i: (x_1, \dots, x_k) &\rightarrow y \\ y = f_i(x_1, \dots, x_{k_1}) &= x_1 + x_2 + \dots + x_{k_i} \end{aligned} \quad (3.83)$$

де i — кількість класів ОПП, k_i — кількість атрибутів об'єктів цього класу.

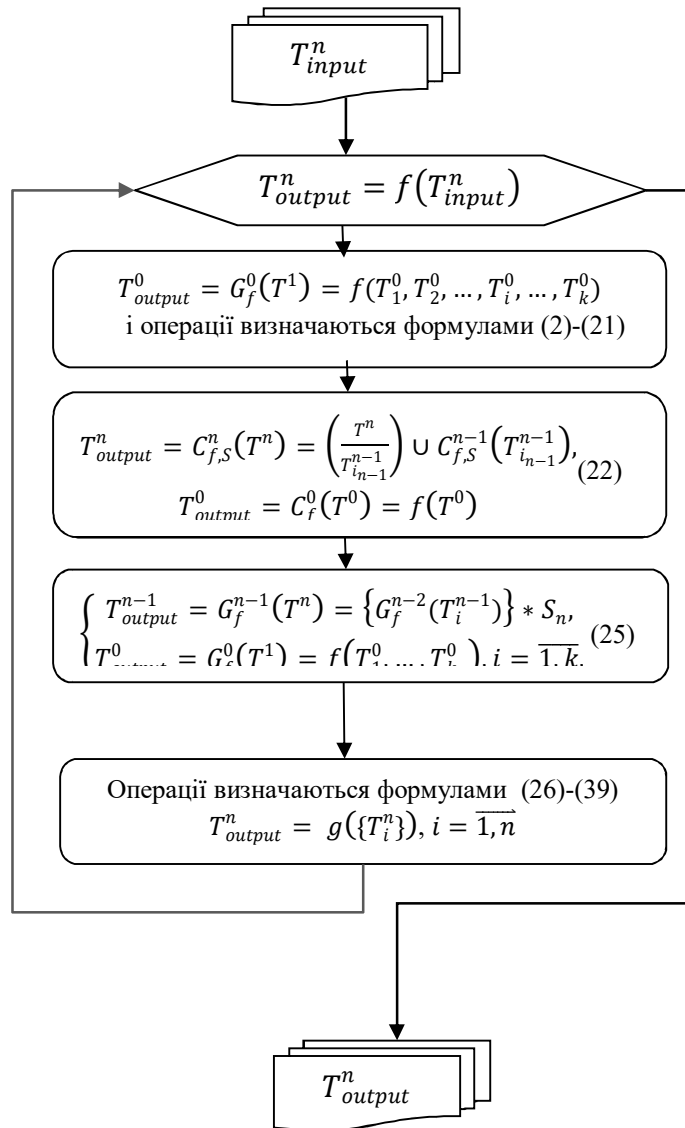


Рис.3.12. Алгоритм методу генералізації просторової інформації в єдину багатовимірну модель

Результатом операції є полігон територіального контролю. Це проект планувальних рішень, описаний БЮ T_{TY}^3 і отриманий шляхом об'єднання полігонів адміністративних районів, що входять до складу даного територіального управління і містить об'єкти просторового планування.

Графічні результати застосування операції простого зміни БЮ, заданої формулами (3.65)-(3.69), на прикладі зміни значення координати Z для БЮ виміру 3, що описує ОПП полігонального типу, показано на рис. 3.14.

На рис. 3.13 а) показана графічна модель БЮ розмірності 3, що описує полігональний об'єкт перед застосуванням операції простої заміни БЮ та на рис. 3.13 б) показана графічна модель БЮ виміру 3, що описує полігональний об'єкт після застосування операції $C_f^0(T_{A2}^0)$ простої зміни БЮ.

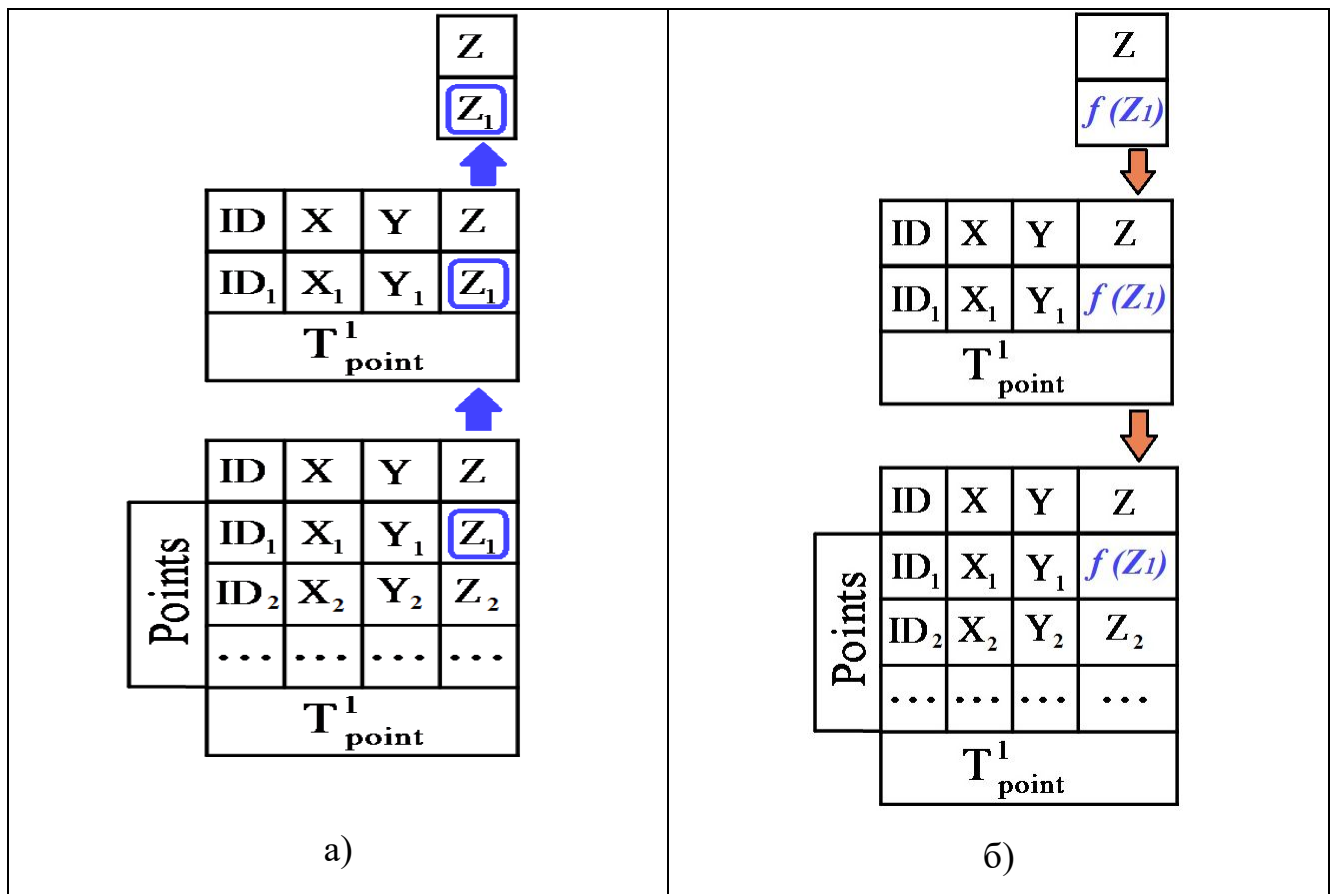


Рис. 3.14. Графічна модель БЮ, що описує точковий об'єкт:

а) до застосування операції простої заміни

б) після застосування операції простої зміни

Схема на рис. 3.15 демонструє графічний результат послідовного

використання методу генералізації для операції заміни БЮ. На рис. 3.15 а) показано приклад візуалізації точкового шару ОПП в проєкті планувальних рішень міського житлового району. На рис. 3.15 б) показано, що новий БЮ буде отриманий в результаті перетворень. На рис. 3.15 в) показано набір точок для ОПП полігонального типу з атрибутивними характеристиками на моделі генерального планування відповідно до їх координат.

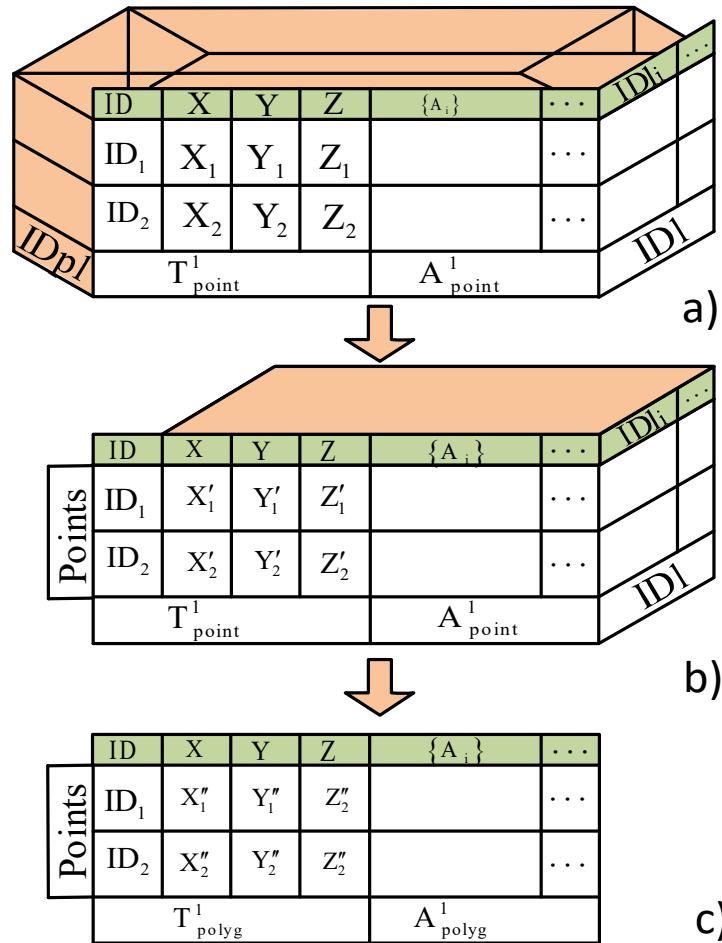


Рис. 3.15. Графічні уявлення послідовного використання методу генералізації БЮ

Використання даного методу дозволяє інтегрувати в ЄІС різномірну просторову інформацію на всіх організаційних рівнях управління територією при збереженні її цілісності.

3.3. Метод обробки інформації про топологічні зв'язки між об'єктами просторового планування

Показником ефективності автоматизації ОПС задачі просторового планування є спосіб подання інформації про топологічні взаємозв'язки між ОПП, які дозволяють структурувати просторово розподілені дані. Визначення топологічних правил між існуючими і проектними ОПП, дозволяє оптимальним чином розробити детальний план забудови земельної ділянки. На основі просторових відношень, можна сформувати умови для відповідності між ОПП одного класу або між різними класами ОПП певному набору правил.

Пропонується використати багатовимірну модель для зберігання просторової інформації про топологічні взаємозв'язки між ОПП. Концептуальна модель для зберігання просторової інформації про топологічні зв'язки – це куб, утворений шарами, представленими у вигляді топологічних двовимірних масивів (рис.3.16). Кожний шар в кубі відповідає певному топологічному правилу і представляє собою двовимірну матрицю.

Таке представлення матриць у вигляді кубічних шарів дозволить використовувати технологію OLAP [136] для автоматизації топологічних відношень між ОПП в ОПС. У цьому випадку куб, який може зберігатися на виділеному сервері, є сховищем певних фактів про міжоб'єктні топологічні зв'язки. Кожному факту присвоюється унікальна комбінація елементів вимірювання, яка визначає наявність або відсутність топології.

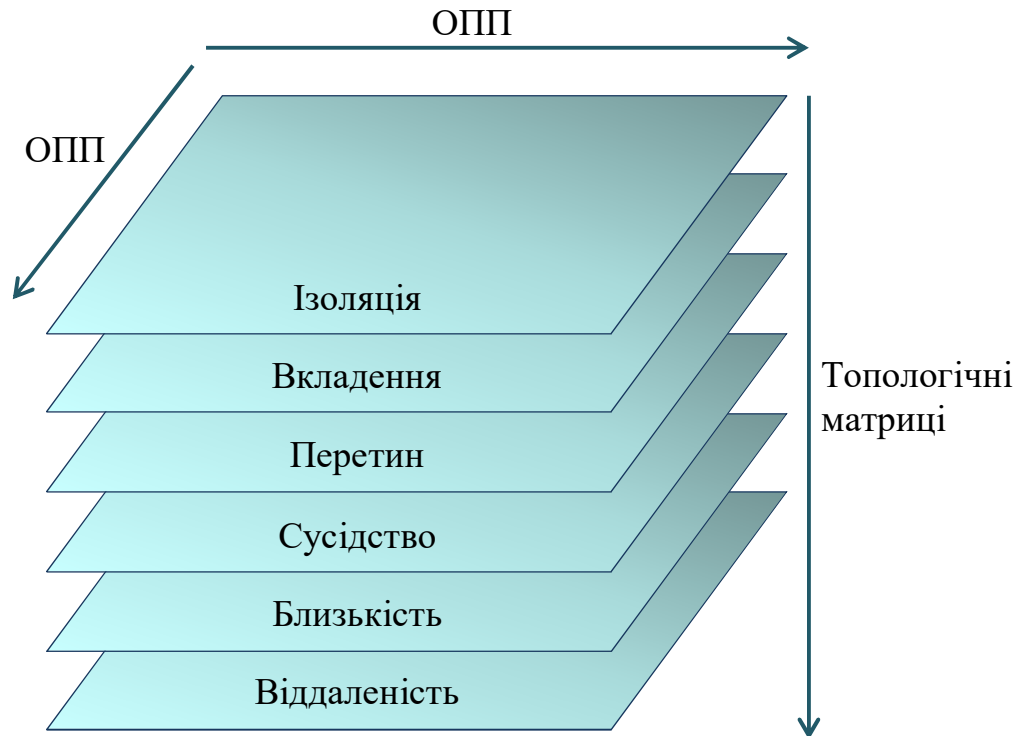


Рис. 3.16. Концептуальна модель для зберігання просторової інформації про топологічні зв'язки

Основною проблемою при організації просторових запитів є висока складність формування топологічних матриць на початковому етапі. Для зниження трудомісткості пропонується використовувати можливість вказувати шар картографічної моделі ОПС, на якому розташовані ОПП певного класу. Таким чином, значне скорочення обсягу оперативної пам'яті і часу, що витрачається на обробку даних, буде досягнуто за рахунок наступних факторів:

- визначення класів ОПП, що підлягають інформаційній обробці даних;
- використання матриць, що містять міжоб'єктні топологічні зв'язки і зберігаються в оперативній пам'яті, при цьому опрацювання матриці буде здійснюватися з високою швидкістю.

Для певного класу ОПП, задається бінарна структура відношень, отже, операції бінарного порівняння закладаються в основу просторового запиту. Залежно від набору сутностей, що беруть участь у просторовій взаємодії, можна виділити три класи топологічних відносин: внутрішньооб'єктні, міжоб'єктні та концептуальні. Кожен клас визначає велику групу топологічних зв'язків, які відображають елементи внутрішньої або зовнішньої топології. Такі класи можуть накладатися один на одного і доповнювати один одного.

Для ефективної роботи засобів обробки просторової інформації при розв'язанні завдання планування території, необхідно знайти збалансовану схему визначення топологічних відношень (рис. 3.17). Таким чином, перераховані вище класи можна охарактеризувати наступним чином:

а) внутрішньооб'єктні — це топологічні зв'язки, які визначають цілісність об'єкта як набору елементарних геометричних частин і семантичного контексту, компонентами топологічного відношення є геометричні примітиви, з яких складається об'єкт;

б) концептуальні — це топологічні зв'язки, які встановлюють найбільш загальні правила розташування об'єктів, що належать до різних класів;

в) міжоб'єктні — це топологічні зв'язки, встановлені між парою ОПП.

Поділ типів топологічних зв'язків на класи, буде здійснюватися відповідно до набору об'єктів, що беруть участь у відношенні. Для формування топологічних матриць, досить визначити міжоб'єктну топологію. У зв'язку з цим, доцільно виділити такі типи міжоб'єктних топологічних відносин: ізоляція, перетин, вкладення, сусідство, близькість, віддаленість. Однак, говорячи про міжоб'єктну топологію, необхідно відзначити фактор впливу на неї внутрішніх зв'язків між складовими частинами ОПП.

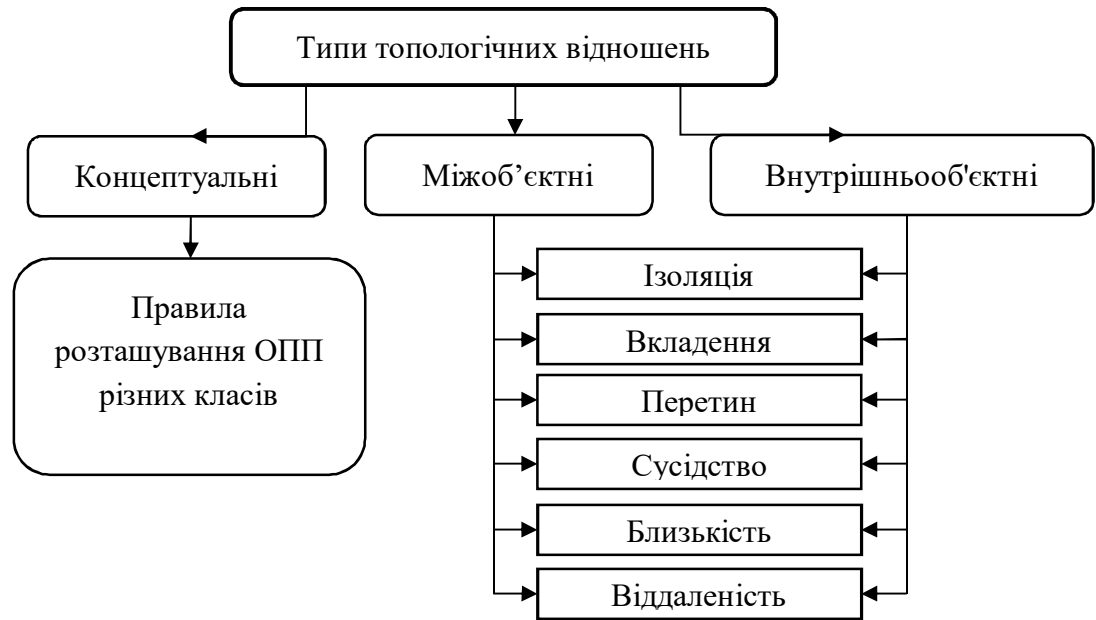


Рис.3. 17. Типи класів топологічних відношень

Фактично, кожне встановлене міжоб'єктне топологічне відношення, засновано на визначенні взаємозв'язку між ОПП. Важливість цих взаємозв'язків можна проілюструвати на наступному прикладі. Визначення допустимої відстані між ОПП "Будівля" і ОПП "Дорога" доцільно встановлювати тільки для зовнішніх контурів ОПП "Будівля". Це скоротить час розрахунку і подальшої перевірки багатовимірної моделі ОПП. При опрацюванні будь-яких відношень, відмінних від ізоляції, виконання правила для одного з компонентів (в даному випадку зовнішнього контуру) означає, що воно справедливо і для об'єкта в цілому.

Нехай існує множина ОПП:

$$O = \{O_i\}, i=1...n, \quad (3.84)$$

де n – кількість ОПП, а також множина сформованих топологічних правил вибору R .

$$R = \{R_j\}, j=1...m, \quad (3.85)$$

де m – кількість правил.

Сутність методу вибірки ОПП полягає в перевірці множини O на відповідність елементів відношенням множини R .

Метод засновано на попередньому формуванні шести матриць, за кількістю базових міжоб'єктних топологічних зв'язків. Рядки і стовпці матриць відповідають ідентифікаторам ОПП, на перетині яких знаходиться двійковий елемент, що вказує на наявність або відсутність топологічного зв'язку. Для удосконалення методу потрібно врахувати наступне:

— для пари ОПП при визначенні відношень "Сусідство", "Ізоляція", "Близькість", "Віддаленість" і "Перетин", заповнити матрицю тільки наполовину, оскільки при опрацюванні цих правил для одного об'єкта з пари, вони також будуть дійсними і для іншого ОПП. Крім того, може бути проведена оптимізація для відношення "Сусідство" або "Перетин", то відношення: "Ізоляція/Близькість/Віддаленість" для одних і тих же об'єктів, не виконуються і їх не потрібно визначати, і навпаки; відносини "Сусідство" і "Перетин" також є взаємовиключними для пари об'єктів. Це дозволить при обробці даних скоротити обчислювальні витрати як мінімум в два рази при формуванні матриць багатовимірної моделі.

— для пари просторових об'єктів при визначенні відношення "вкладеності" можливе деяке зниження обчислювальних витрат за рахунок виключення повторних перевірок на вкладеність для пари об'єктів, а також в разі, якщо всі інші раніше обчислені відношення не виконуються;

— для топологічного відношення "ізоляція" аналіз розташування можливий не за елементами, а по стовпцях через винятковість цього правила: якщо в рядку, що відповідає просторового об'єкту, немає жодного двійкового елемента зі значенням "0", то даний просторовий об'єкт є ізольованим.

Доцільно представити метод у вигляді послідовності виконання наступних кроків:

Крок 1. Визначаються набори ОПП (3.84) і топологічних правил (3.85) та задається міра близькості для розрахунків.

Крок 2. Опрацювання множини O виконується відповідно до наступного правила:

$$M[i, j, k] = R(O_i, O_j)_k, R_k \in R, \forall O_i, O_j \in O, \quad (3.86)$$

де i, j, k – порядкові номери рядка, стовпця багатовимірної моделі, що відповідають ОПП і топологічному правилу; M — топологічний куб.

Крок 3. Формуються прості (одне топологічне відношення) або складні (комбінація декількох топологічних відносин) правила, які визначають взаємне розташування ОПП.

Крок 4. Розміщення ОПП здійснюється шляхом обробки топологічної матриці, для якої формується власний список S відповідних ОПП, тобто для кожного i -го об'єкта визначаються інші (з номерами j) об'єкти, які відповідають йому в будь-якому просторовому відношенні:

$$S_i \leftarrow \text{Get ID}(i, j), \text{ if } M[i, j, k] = 1 \ \& \ i \neq j \ \forall \ i, j \in (1 \dots n), \quad (3.87)$$

де Get ID — оператор для визначення ідентифікатора об'єкта за його номером у матриці.

Для складеного правила сформовані списки об'єднуються відповідно до розташування правил (кон'юнкція, диз'юнкція, заперечення):

$$S = S_1 (\& / \| / \neg) \dots S_2 \dots S_i \dots S_p \quad (3.88)$$

де p — кількість простих правил у складному.

На рис. 3.18 надана багатовимірна модель для опису топологічних відношень.

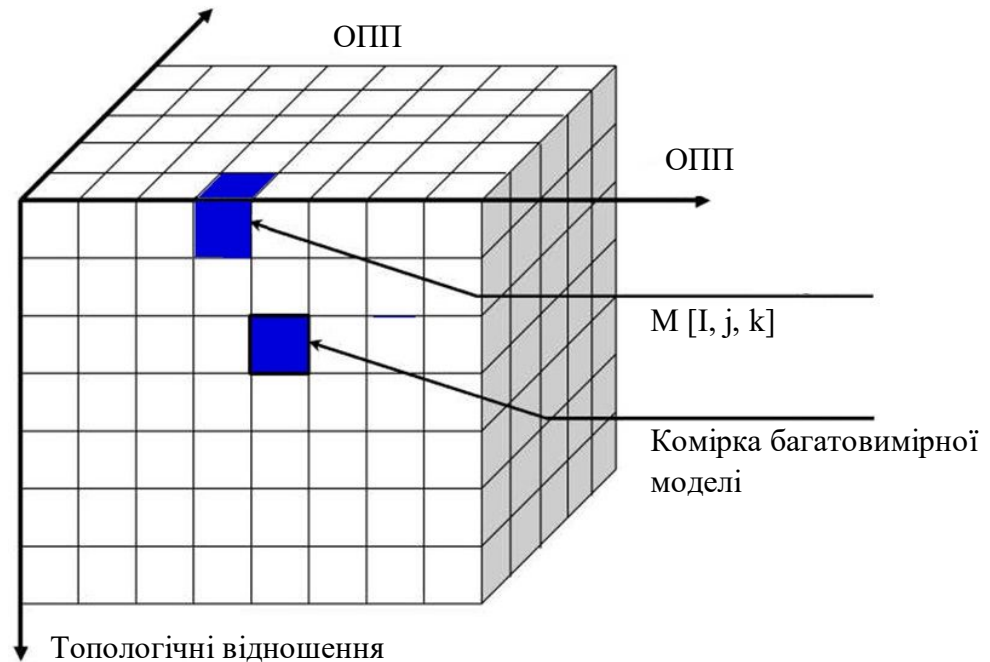


Рис. 3.18. Багатовимірна модель опису топологічних відношень між ОПП

Запропонований метод опису і обробки топологічних зв'язків засновано на організації матричного способу зберігання топологічної інформації, коли матриці — це шари, що утворюють куб, який представляє собою багатовимірну модель топологічної інформації. Матриці зберігаються в оперативній пам'яті, що прискорює пошук інформації в них.

Елементи матриці являють собою двійкові значення, що вказують на наявність "1" або відсутність "0" одного з відношень між ОПП, що визначаються порядковими номерами стовпця і рядка.

Структура бінарних зв'язків визначається для певного класу ОПП, оскільки операції бінарного порівняння є основою для обробки топологічних зв'язків. Апробація цього методу проводилася на тестових і робочих детальних планах житлових забудов, основна відмінність між ними полягає в різноманітності ОПП та топологічних зв'язків між ними.

Спочатку була вивчена робота окремих обчислювальних топологічних процедур–варіантів компоновання ОПП за простими топологічними правилами, оскільки це дає змогу виявити найбільш трудомісткі етапи методу для тих випадків, коли опрацьовується складне правило. Як видно з діаграм (рис.3.19 та 3.20), збільшення складності виконання відбувається майже лінійно, за винятком перевірки по матрицях, що пов'язано з відсутністю різноманітності ОПП в проєктній моделі території тестувального плану.

На рис. 3.19 надано діаграму результатів застосування методу для обробки простих топологічних правил. На рис. 3.20 надано діаграму результатів застосування методу для обробки складних топологічних правил.

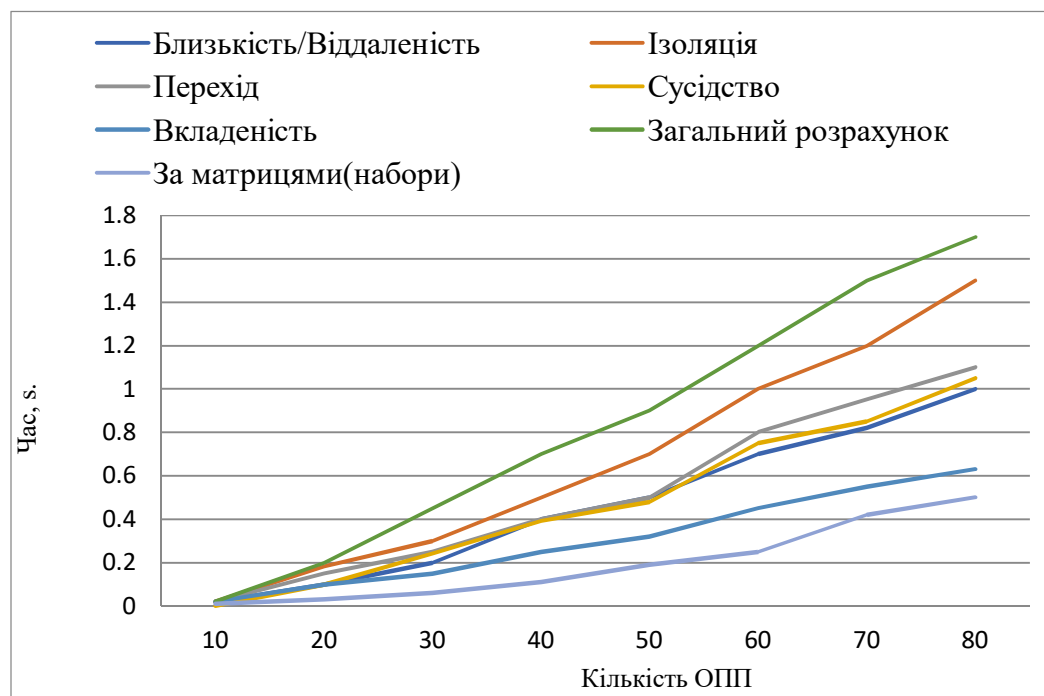


Рис. 3.19. Результат застосування методу для обробки простих топологічних правил

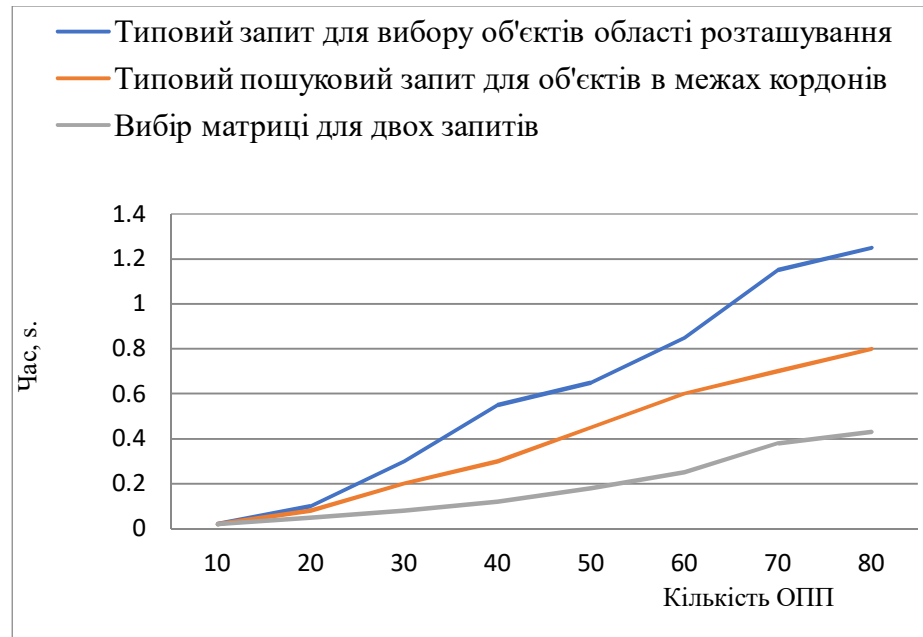


Рис. 3.20. Результат застосування методу для обробки складних топологічних правил

На рис. 3.21 показано графічне представлення методу, заснованого на топологічних матрицях і БД.

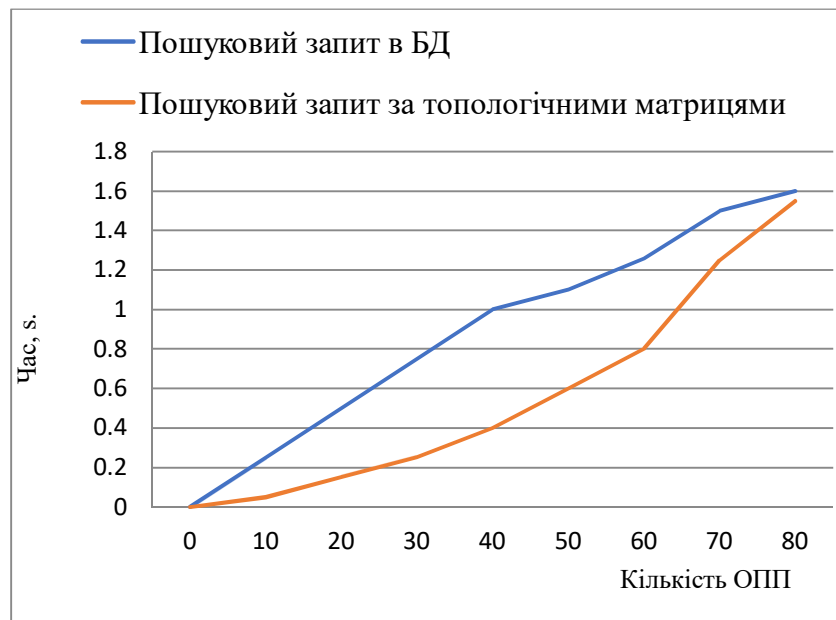


Рис.3.23. Графічне представлення пошукових запитів ОПІ за топологічними матрицями і БД

Результати експериментального дослідження методу представлено на рис. 3.24, на якому показано графік опрацювання зі звичайною вибіркою (крива 1) і з вибіркою на основі топологічних матриць (крива 2). Оцінювання потреб алгоритму в оперативній пам'яті виявило: для добре деталізованого генерального плану забудови кварталу м. Києва кількість ОПП може досягати 1000, відповідно, обсяг однієї матриці складе 1000×1000 байт або $\sim 0,95$ ГБ, а для п'яти топологічних матриць – $0,91 \times 5 = 4,75$ ГБ. Кількість ОПП може різнитися в залежності від поточного рівня деталізації і активних шарів цифрової моделі території, але загальна тенденція, яка виражається в експоненціальному збільшенні завантаження пам'яті у зв'язку із збільшенням кількості ОПП, залишається незмінною.

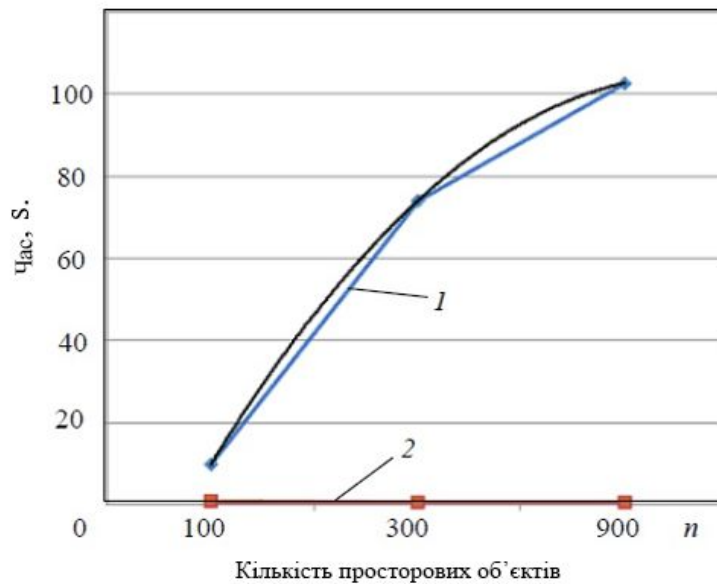


Рис.3.24. Результати експериментального дослідження

Концепт формування ІМ ОПП в ЄІС передбачає таку організацію даних, яка забезпечить легкий доступ до комплексу атрибутивної інформації, а також візуальну модифікацію інформаційної структури просторової інформації. Наочність доступу дає змогу швидко переходити від інформації про ОПП до його цифрового (графічного) подання і навпаки. Таким чином, важливими досліджуваними аспектами методу є його ефективність при доступі до записів

БД для виконання обчислень при розв'язанні завдань ПП. При вивченні характеристик вибору для БД плану, заснованого на топологічних матрицях, був використаний реальний генеральний план масиву житлової забудови. Як видно з результатів дослідження, відбір по БД є лінійним, а по матрицях – експоненціальним. Максимальне прискорення, що досягається за рахунок топологічного відбору, становить $\sim 25\%$. В результаті проведеного експериментального дослідження були виявлені переваги використання методу обробки просторової інформації про топологічні зв'язки в поєднанні з багатовимірною моделлю ОПП для розв'язання завдань просторового планування.

Переваги використання методу виявляються при розв'язанні завдань горизонтального і вертикального планування території забудови. Після того, як сформовані топологічні матриці між ОПП потрапляють до БД будівельного проекту, їх можна використовувати для опрацювання варіантів компоновки ситуаційного плану і на етапі експлуатації об'єкта нерухомості. Незважаючи на оптимальність обчислювальних топологічних процедур, початковий етап формування топологічних матриць є трудомістким, що підтверджується параболічною залежністю часу опрацювання від кількості ОПП. Складність методу на початковому етапі й висока потреба в оперативній пам'яті вказують на необхідність застосування технології OLAP, яка здатна забезпечити такі потреби користувача при її використанні [143, 147, 175]:

- а) користувач сам виконує деталізацію матриць топологічних правил, вибираючи класи ОПП, які будуть формувати топологічні шари моделі;
- б) міжоб'єктні топологічні відношення, які представлені в багатовимірній моделі, ефективно обробляються як простими, так і складними правилами;
- в) багатовимірне представлення топологічної інформації дозволяє застосувати розподілену обробку просторових даних.

3.4. Формалізація аналітичної обробки складових об'єктно-просторових систем

Комплексні будівельні проекти стають важливим напрямком у формуванні обґрунтованих економічних рішень при оцінці можливостей впровадження інноваційних інформаційних технологій. Об'єкти будівництва являють собою складні системи, засновані на взаємодії набору управлінських і технічних дій, включаючи технічні засоби, програмне забезпечення і людський фактор. Їх виробництво здійснюється з використанням процесів, що мають безліч технічних і керуючих "входів" і "виходів". У той же час зростає роль стандартів, які використовуються на всіх етапах управління, перш за все тому, що стандарти передбачають взаємодію різних компонентів один з одним.

Об'єктно-просторова система для розв'язання задачі просторового планування складається з існуючих та проектних об'єктів просторового планування, що розрізняються за рівнем складності з відповідними взаємозв'язками і взаємовідносинами. Складність характеризується внутрішньою інформацією, яка кількісно залежить від кількості ОПП і зв'язків різних рівнів, встановлених між ними. Поділ системи на інформаційні об'єкти і функціональні модулі, опис всіх інтерфейсів її взаємодії, дають змогу виявити відносну повноту множини зв'язків між елементами системи, які визначають її поведінку. Така складна система має бути заснована на формальних моделях життєвого циклу (ЖЦ) будівельного проекту та врахувати взаємодію сукупності управлінських та технічних дій, у тому числі інструментальних засобів, програмного забезпечення та людського фактора. може бути представлена у вигляді метабази, в якій міститься інформація щодо кожного виду ОПП.

Формальна модель ОПС може бути представлена у вигляді метабази, в якій міститься інформація про кожний ОПП та описується множиною G . З

іншого боку, ОПС як процес також можна представити у вигляді функціональної системи і описати множиною функцій \mathbf{F} . Введемо такі позначення:

- Q_G – набір властивостей, що визначаються відношеннями між елементами множини \mathbf{G} ;
- Q_F – набір властивостей, що визначаються відношеннями між елементами множини \mathbf{F} ;
- Q_{FG} – набір властивостей, що визначаються зв'язками між елементами множин \mathbf{F} і \mathbf{G} ;

Тоді співвідношення на декартовому добутку можуть відповідно визначати співвідношення всередині множин \mathbf{F} і \mathbf{G} :

$$Q_F \times F = \left\{ \begin{array}{l} z_i^F = (q_i^F, f_i): q_i^F \in Q_F, \\ f_i \in F, i = 1, \dots, n \end{array} \right\} \quad (3.89)$$

і

$$Q_G \times G = \left\{ \begin{array}{l} z_i^G = (q_i^G, g_i): q_i^G \in Q_G, \\ g_i \in G, i = 1, \dots, n \end{array} \right\} \quad (3.90)$$

Відношення до декартового добутку може визначати відношення між ними:

$$Q_{FG} \times G \times F = \left\{ \begin{array}{l} z_i^{FG} = (q_i^{FG}, g_i, f_i): q_i^{FG} \in Q_{FG}, \\ g_i \in G, f_i \in F, i = 1, \dots, n \end{array} \right\} \quad (3.91)$$

де складовий елемент z_i^{FG} інтерпретується наступним чином: "складовий елемент g_i інформаційної системи описує інформацію про властивість q_i^{FG} функціональної частини інформаційної системи f_i ". Пошук інформації, що відповідає певному елементу f_i в g_i , визначається співвідношенням $R \subseteq G \times F$.

Таким чином, для будь-якої пари $(g_i, f_i) \in R: g_i \in G, f_i \in F, i = 1, \dots, n$, можна встановити, що f_i має відношення до g_i , і вирішення проблеми визначення релевантності елементів множин G і F , зводиться до визначення відношення $R \subseteq G \times F$. Більш того, $\forall g_i \in G, f_i \in F, g_i \in G, f_i \in F, i, j = 1, \dots, n, \epsilon$

правдивим, якщо $f_i \subseteq f_j$ і $g_i \subseteq g_j$, тобто всі елементи g_i містяться в g_j , і всі елементи f_i містяться в f_j , і $(g_i, f_i) \in R$, тоді $(g_j, f_j) \in R$.

За винятком крайнього випадку, коли відношення R саме є декартовим добутком $G \times F$, відношення не включає всі можливі кортежі з декартового добутку. Це означає, що для кожного відношення існує критерій для визначення того, які кортежі включені у відношення, а які — ні. Таким чином, кожне відношення R може бути пов'язане з логічним виразом (предикатом) Q_{FG} , що залежить від певної кількості параметрів (n -арний предикат) і визначає, чи належить кортеж (g_i, f_j) відношенню R .

Таким чином, приналежність кортежу до відношення еквівалентна істинності предиката:

$$(g_j, f_j) \in R \Leftrightarrow \{Q_{FG}\} = \{G, F, R\} \quad (3.92)$$

Однак, в будь-якому випадку, при формалізації інформаційної системи планування територій ОПП та відношень між ними є первинними, тобто формально система відношень, може бути представлена множинами ОПП і відношень між ними. Характеристика процесу планування може бути представлена у вигляді набору пар:

$$\{ \langle A_i, D_i \rangle, i = 1, \dots, n \} \quad (3.93)$$

де A_i є непустим набором імен властивостей (атрибутів), D_i є набором значень відповідних атрибутів. Значення розподіляються на класи ОПП, які взаємодіють один з одним на основі правил.

Нехай P визначає набір цих правил. Взаємозв'язки $G = \{ \bar{G}, \tilde{G} \}$ можуть бути встановлені за набором атрибутів, які поділяються на кількісні \bar{G} та якісні \tilde{G} , для яких визначена множина типів оцінки T . Наприклад, $T = \{ \text{"проекти рухаються до досягнення своїх цілей"}, \text{"проекти проводяться у відповідності до актуальної директиви"}, \text{"проекти реалізуються відповідно до плану"}, \text{"проекти залишаються} \}$

життєздатними"}. Тоді будь-яке правило оцінки може бути представлено кортежем

$$P = \langle G, T \rangle = \langle \{\bar{G}, \tilde{G}\}, T \rangle \quad (3.94).$$

Отже, кортеж інформаційних характеристик процесу (3.93), множина встановлених відношень $G = \{\bar{G}, \tilde{G}\}$ і кортеж правил для встановлення відношень (3.94) можуть бути використані для формального визначення процесу планування у вигляді наступного кортежу компонентів:

$$Z = \{ \langle A_i, D_i \rangle, \{\bar{G}, \tilde{G}\}, \langle \{\bar{G}, \tilde{G}\}, T \rangle \}, \quad i \in N \quad (3.95)$$

Значення атрибутів можуть бути не числовими. Зокрема, лінгвістична форма подання даних широко використовується в сховищах просторових даних. Для оцінки характеристик, які носять якісний характер, можуть використовуватися порядкові шкали. Доцільно присвоїти значення лінгвістичним змінним рівням порядкових або вербальних шкал і виконувати всі подальші операції з їх функціями приналежності.

Виходячи з наведеного, інформаційну систему можна представити у вигляді багаторівневого середовища, що складається з множини елементів, функцій і методів, що працюють на цих елементах і множини властивостей елементів і відносин між ними. Така ІС є складною з великою кількістю компонент, і облік їх характеристик ще більш ускладнює ІС.

Базуючись на запропонованих методологічних засадах формування ЄІС у вигляді сукупності взаємодіючих семантично формалізованих ОПП, пов'язаних між собою відносинами класів атрибутів, доцільно використовувати в якості вимірювань при побудові БПО множини, отримані згідно правил генералізації моделей взаємодіючих ОПП. Кожна модель ОПП при цьому буде містити сформований унікальний інформаційний набір, що складається з таких характеристик ОПП, яких потребує конкретна задача просторового планування для знаходження розв'язку.

Для кожного вимірювання складається список унікальних значень з елементів, здійснюється попереднє агрегування атрибутів для ООП, що мають однакові значення розмірностей. Використовуючи ЄІС можна пов'язати елементи різних тематичних наборів між собою, для чого кожному ОПП формується у відповідність інформаційний набір, елементами якого будуть номери фактів, при формуванні яких використовувалися ці вимірювання. Для елементів відповідно кожного ОПП формується у відповідність значення координат, за якими цей об'єкт розташований ЄІС. Вимірювання мають ієрархічну структуру, що складається з одного або декількох рівнів, на підставі якої здійснюються операції генералізації або деталізації ОПП.

Для кожного окремого запиту в ЄІС може створюватися окремі СБПО, логічне зв'язування яких і побудова наступного рівня можливо вже тільки на рівні агрегованих аналітичних показників. Таким чином здійснюється перехід до управління просторовими даними, які розподілені за кількома репозиторіями з одночасним забезпеченням базового набору функцій над усіма джерелами даних.

В деяких випадках межі між просторами даних можуть бути “плаваючими”, тому всі види зв'язків між користувачами ОПС мають бути формалізованими, а семантична інтеграція має розвиватися в часі за потребою, що забезпечує високий рівень автономності компонентів ІС.

В результаті доступні операції над векторними просторами, які представляються багатовимірними моделями, де в якості базисів використовуються вектора вимірювань. Композиція таких моделей може бути представлена у вигляді лінійної комбінації базисних векторів як тензорний добуток, результатом якого є єдиний загальний простір, в якому білінійно можна відобразити вхідні векторні простори.

Доцільно розглянути варіант побудови вимірювань багатовимірної моделі ОПП. Необхідно здійснити просторову обробку перетворення первинних даних,

які зберігаються в різних тематичних репозиторіях. Так, з метою підвищення продуктивності при побудові ЄІС потрібно визначити унікальні елементи, що зберігаються в стовпцях, які будуть вимірами багатовимірної моделі. Для записів, що мають однакові значення розмірностей необхідно здійснити попереднє агрегування. Для побудови зрізів в ЄІС необхідно визначити координати (фактичні значення вимірювань) моделей ОПП, і моделей ОПП, які мають проєктні значення.

Схема аналітичної обробки складових інформаційної системи у форматі інтегрованої моделі розроблена і представлена на рис. 3.25. Залежно від вимог щодо отримання результату при обробці просторової інформації, визначається правило аналітичної обробки в такій послідовності кроків:

1. Визначаються семантичне правило (запит) до отримання результату задачі просторого планування характеристики для ОПП.
2. Виділяються ключові елементи, які відповідають семантичному правилу за функцією приналежності.
3. Формуються тематичні інформаційні набори унікальних значень на основі з формалізованих атрибутів класів ОПП.

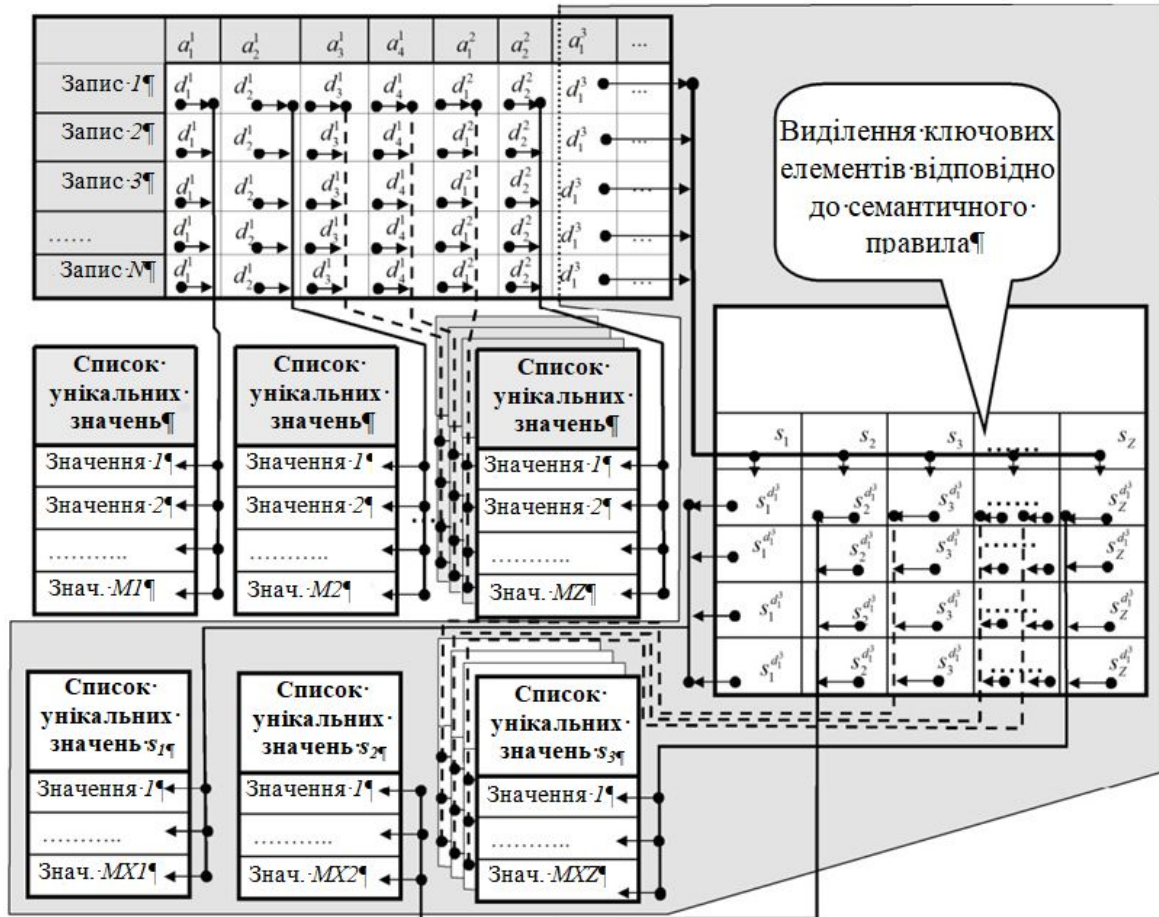


Рис.3.25. Схема аналітичної обробки складових ОПС у форматі єдиного інформаційного середовища

Тобто замість однієї таблиці отримуємо аналог нормалізованої бази даних. Наприклад, якщо користувача цікавлять тільки координати просторового об'єкта в ЄІС, тоді доцільно визначити тільки координати для значень вимірів.

Висновки до розділу 3

1. Здійснено аналітичну формалізацію інтегрованого опису просторової інформації для розв'язання завдання зв'язування геометричних та атрибутивних масивів даних, що окремо накопичуються у територіальному банку даних єдиного інформаційного середовища на основі мультиплікативного підходу, який застосовується до опису великих обсягів інформації з використанням багатовимірних інформаційних об'єктів (БІО), що дає змогу представити в єдиній формалізованій формі ІМ ОПП різних типів та описати їх в уніфікованій формі для подальшої геообробки в залежності від розмірності БІО. Такий підхід відповідає сучасним вимогам інформаційного моделювання в будівництві, що дозволить вирішувати завдання, пов'язані з просторовим плануванням території як окремої адміністративно-територіальної одиниці або у складі комплексного плану розвитку населеного пункту на новому технологічному рівні.

2. Реалізовано вдосконалення методу генералізації просторової інформації на основі використання багатовимірних інформаційних об'єктів (БІО), що дозволяє інтегрувати в ЄІС різнорідну просторову інформацію на всіх організаційних рівнях управління територією при збереженні її цілісності. Цей вдосконалений метод призначений для оновлення (або заміни) просторової інформації для подальшої генералізації (узагальнення) в ЄІС для розробки ІМ ОПП на основі введеної операції заміни, що дозволяє здійснити перехід до управління просторовими даними, які розподілені за кількома репозиторіями з одночасним забезпеченням базового набору функцій над усіма джерелами даних.

3. Отримав подальший розвиток метод обробки інформації про топологічні зв'язки між ОПП на основі багатовимірної моделі представлення топологічної інформації, яку реалізовано у вигляді багат шарового цифрового куба. Кожен із шарів такої моделі відповідає певному топологічному правилу і

представляє собою двовимірну матрицю, що дозволило використовувати OLAP-технологію для автоматизації складних топологічних відношень між ОПП в ОПС. Проведені експериментальні дослідження, які довели ефективність обробки користувацьких запитів.

4. Удосконалена модель аналітичної обробки складових об'єктно-просторової системи, яка, на відміну від існуючих аналогів, дозволяє з агрегованих позицій представити інформаційну систему автоматизації у вигляді багаторівневого середовища, що складається з множини елементів, функцій і методів, що працюють на цих елементах, множини властивостей елементів і відносин між ними, що, на відміну від існуючих моделей, забезпечує високий рівень автономності компонентів ОПС.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [240, 241, 243–245, 256, 257, 267, 268].

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ

4.1. Формалізований опис операцій адаптованої автоматизованої інформаційної системи інтегрованої обробки даних

Адаптивність є однією з найважливіших вимог, що пред'являються до інформаційних систем інтегрованої обробки даних. Ця характеристика визначає здатність системи розвиватися відповідно до потреб користувача. Поняття адаптивності розглядається досить широко, включаючи такі взаємопов'язані не функціональні вимоги, як здатність до розробки, гнучкість, розширюваність, інтеоперабельність [243]. Такий ітеративний процес можна вважати невід'ємною частиною життєвого циклу автоматизованої системи просторової обробки даних.

Адаптивність автоматизованої інформаційної системи в першу чергу визначається властивостями моделі представлення даних. Одним з основних засобів опису та зберігання атрибутивних даних моделей ОПП є система управління реляційними базами даних (СУБД). Це пояснюється тим, що реляційна модель проста в проєктуванні та реалізації порівняно з іншими моделями даних (ієрархічними, мережевими, об'єктними) і має потужний математичний апарат, заснований на теорії множин, нормалізації схем зв'язків та реляційній алгебрі. Як правило, поведінка системи розглядається у фіксованому просторі. Поведінка системи — це зміна її станів у часі з певним результатом. Однак використання простору фіксованих станів не дозволяє описати поведінку ОПС, тому виникає необхідність у створенні моделі адаптованих систем, які можуть більш адекватно відображати зміни в системі та

її розвиток. Для цього необхідно використовувати інший спосіб представлення даних, відмінний від табличного подання.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно ввести три еквівалентних поняття: *сутність* (об'єкт, річ), *атрибут* (властивість, характеристика) і *відношення* (комунікація, взаємодія). Цих трьох виділених понять-категорій достатньо для представлення просторової інформації про ОПП. В процесі аналізу ІС виділяється певна сутність і їй присвоюється деяке унікальне ім'я. Якщо вимога унікальності не буде виконана, то це призведе до двозначності і помилок. Після цього визначаються атрибути сутності, на основі яких вона була обрана з предметної області. Кожному атрибуту присвоюється певне унікальне ім'я (ідентифікатор). Потім вивчаються всі відношення обраного ОПП з іншими ОПП. Кожному відношенню присвоюється унікальне ім'я (ідентифікатор, ID).

Доцільно представити тривимірний дискретний інформаційний простір у форматі $\langle \text{сутність}, \text{атрибут}, \text{відношення} \rangle$ і описати таким кортежем:

$$\langle V, S, O \rangle \quad (4.1)$$

де V — набір сутностей, S — набір атрибутів, O — набір відношень.

Всі три множини V , S і O для даної тематичної галузі є кінцевими множинами. Межі такої тематичної галузі досить великі і в деяких випадках можуть збільшуватися. Найменший елемент цього простору є тривимірною точкою, яку можна розглядати як багатовимірну інформаційну змінну адаптивної системи з координатами $M_i(v_i, s_i, o_i)$. Це найменша адресована точка тривимірного простору $\langle \text{сутність}, \text{атрибут}, \text{відношення} \rangle$.

Формалізований опис багатовимірного простору представлення даних може бути представлений у вигляді набору:

$$A = \{a_n\}, \quad n = \overline{1, N} \quad (4.2)$$

де A — набір іменних осей багатовимірного простору, N — кількість осей багатовимірного простору.

Набір A містить структуру багатовимірного простору (MDS) і набір необхідної кількості осей:

$$MDS = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_N, \quad (4.3)$$

де MDS — багатовимірний простір, B_N — набір значень осі a_n ,

$B_N = \{b_{ni}\}$, $n = \overline{1, N}$, $i = \overline{1, I_n}$, i_n — ідентифікатор елемента інформаційного набору значень осі a_n .

Множина MDS є декартовим добутком множин значень осей багатовимірного простору. Опис представлення даних предметної області відбувається з використанням елементів набору B_N .

Модель ОПС M багатовимірного простору MDS описується наступним чином:

$$M = \{p_{i_1, i_2, \dots, i_n}\} \quad (4.4)$$

де p_{i_1, i_2, \dots, i_n} — значення точки багатовимірного простору з координатами $\langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$.

Багатовимірне представлення даних дозволяє працювати з динамічними структурами зберігання даних, що відкриває нові можливості для створення адаптованих систем збору та обробки інформації, дозволяє використовувати неявні асоціативні зв'язки різних понять і об'єктів. Це означає, що на основі аналізу структури збережених даних може бути отримана додаткова інформація, яка явно не міститься в базі даних. Поняття міри близькості може бути введено в багатовимірному просторі. Це відстань або між окремими точками, або між їх наборами. Можна використовувати міру подібності різних структур. Це відкриває принципово нові можливості для BIM, CAD або GIS-систем, що використовують механізм виведення і обробку зображень лазерним

скануванням. Багатовимірне представлення базується на об'єктно-орієнтованому підході, що за потребою дозволяє ввести додаткові осі і виміри. Багатовимірний простір може бути розділений на окремі підпростори (підсистеми) і, згідно з певними правилами, може об'єднувати окремі уявлення в ЄС. З точки зору реляційних моделей, багатовимірне представлення — це N -вимірна реляційна таблиця, що розташована в N -вимірному просторі, в якому компілюються всі звичайні реляційні таблиці.

Необхідно визначити загальну структуру багатовимірного простору для опису адаптованої моделі автоматизованої ІС, заснованої на реляційній моделі. Реляційна модель даних — це набір нормалізованих відносин (таблиць), до яких застосовні операції реляційної алгебри [243]. Кожний зв'язок включає в себе множину атрибутів і записів, які визначаються ключем зв'язку. Таким чином, необхідно ввести три вісі для опису реляційної моделі даних у багатовимірному просторі:

- вісь тематичної галузі сутностей;
- вісь властивостей ОПП;
- вісь набору ідентифікаторів записів сутностей.

Тривимірний дискретний інформаційний простір для реляційної моделі даних перетворюється на простір $\langle \text{сутність}, \text{атрибут}, \text{ідентифікатор} \rangle$. Формалізований опис такого багатовимірного простору представлення даних може бути представлений у вигляді набору:

$$\langle V, S, ID \rangle \quad (4.5)$$

де ID — це набір ідентифікаторів.

Простір $\langle \text{сутність}, \text{атрибут}, \text{ідентифікатор} \rangle$, називається визначальним, і відповідно осі, що утворюють цей простір, називаються визначальними осями. Тоді значення кожної точки у визначальному просторі залежить від параметрів інших осей, що утворюють багатовимірний простір.

Адаптована система змінюється з часом. Тому необхідно ввести вісь часу, яка визначатиме стан моделі даних при описі поведінки адаптованої інформаційної системи. Стан моделі даних у момент часу t — це набір точок у багатовимірному просторі, значення яких у визначальному просторі щодо параметра часової осі є останніми до заданого моменту часу t . Стан моделі даних щодо реляційної моделі — це набір відношень у будь-який момент часу.

Щоб забезпечити багатокористувацький режим роботи і безпеку інформації, що зберігається, слід визначити вісь системних модифікаторів, тобто множину користувачів системи. Ця вісь визначає, який користувач змінив моделі даних стану.

Таким чином, структура багатовимірного простору для адаптованої моделі ІС складається з п'яти основних осей:

1. Набір просторових предметів тематичної галузі описується наступним чином:

$$V = \{v_i\}, i = \overline{1, N_V} \quad (4.6)$$

де V — набір просторових предметів об'єктів, N_V — кількість сутностей.

2. Набір атрибутів просторового предмета тематичної галузі описується наступним чином:

$$S = \{s_i\}, i = \overline{1, N_S} \quad (4.7)$$

де S — набір атрибутів тематичної галузі сутностей, N_S — кількість атрибутів сутностей.

3. Набір ідентифікаторів записів сутностей ОПС описується наступним чином:

$$ID = \{id_i\}, i = \overline{1, N_{id}} \quad (4.8)$$

де ID — це набір ідентифікаторів записів сутностей, N_{id} — кількість ідентифікаторів. Ідентифікатор витягує певний запис із відношення в кожній

сутності. Ідентифікатор запису не повторюється в усіх відношеннях і унікальний.

4. Набір моментів зміни стану моделі описується наступним чином:

$$T = \{t_i\}, i = \overline{1, N_t}, t_i < t_{i+1} \quad (4.9)$$

де T — час, нерівність $t_i < t_{i+1}$ означає, що подія t_i не відбулася до події t_{i+1} .

5. Набір модифікаторів описується наступним чином:

$$U = \{u_i\}, i = \overline{1, N_U} \quad (4.10)$$

де U — набір модифікаторів або ідентифікаторів користувачів, N_U — кількість модифікаторів, u_i — ідентифікатор користувача, який вніс зміну в значення точки багатовимірного простору.

Структура багатовимірного простору з урахуванням формул (4.6)-(4.10) буде мати наступний вигляд:

$$MDS = V \times S \times ID \times T \times U \quad (4.11)$$

Відповідно, будь-яка точка багатовимірного простору матиме наступні координати:

$$p = \langle v, s, id, t, u \rangle \quad (4.12)$$

На рис. 4.1 показано підпростір, що визначає первинну модель даних, а виділена точка зберігає значення атрибута з ідентифікатором відношення.

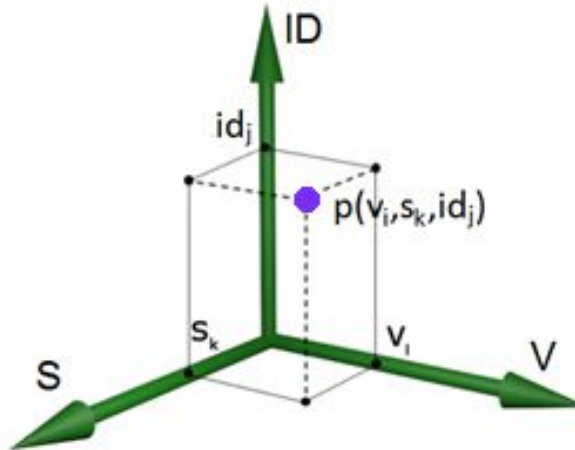


Рис. 4.1. Інформаційний підпростір подання первинних даних

Багатовимірний простір для адаптованої моделі даних зберігає взаємозв'язки реляційної моделі домену. Схема операцій в багатовимірному інформаційному просторі представлена на рис. 4.2. Отже, для отримання результату запиту доцільно розділити операції на два типи.

Перший тип операцій — це операції над елементами осей багатовимірному простору. Є операції з координатами точок. Ці операції виконуються над координатами точок у багатовимірному просторі без аналізу значень цих точок. Це операції з розподілу різних підпросторів, що відповідають певним умовам, уздовж осей (операції з отримання зрізів багатовимірному простору).

Другий тип операцій — це операції реляційної алгебри (SQL).

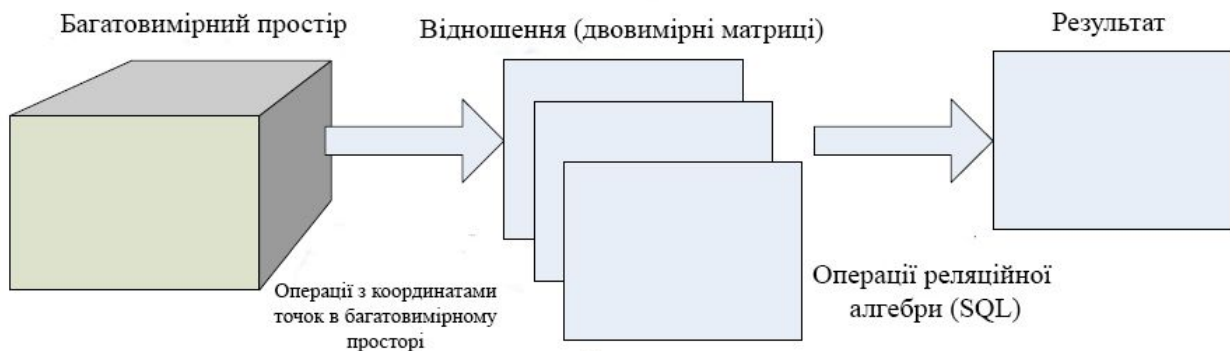


Рис. 4.2. Схема операцій в багатовимірному інформаційному просторі

Отже, функція визначення значення точки багатовимірного простору може бути представлена:

$$m_p = M(p) \quad (4.13)$$

Операції з координатами точок дозволяють вибрати необхідний підпростір для вирішення задачі просторового планування. Потім обраний підпростір перетворюється на відношення домену шляхом повторного застосування функції $M(p)$ до всіх точок обраного підпростору, після чого до отриманих відношень можуть бути застосовані операції реляційної алгебри для визначення результату запиту.

Багатовимірний інформаційний простір MDS (рис. 4.3) може бути представлений в матричному вигляді наступним чином:

$$M = \left\| m_p \right\| \quad (4.14)$$

Багатовимірний простір з урахуванням формул (4.12)-(4.14) матиме наступний вигляд:

$$M = \left\| m_{v,s,id,t,u} \right\| \quad (4.15)$$

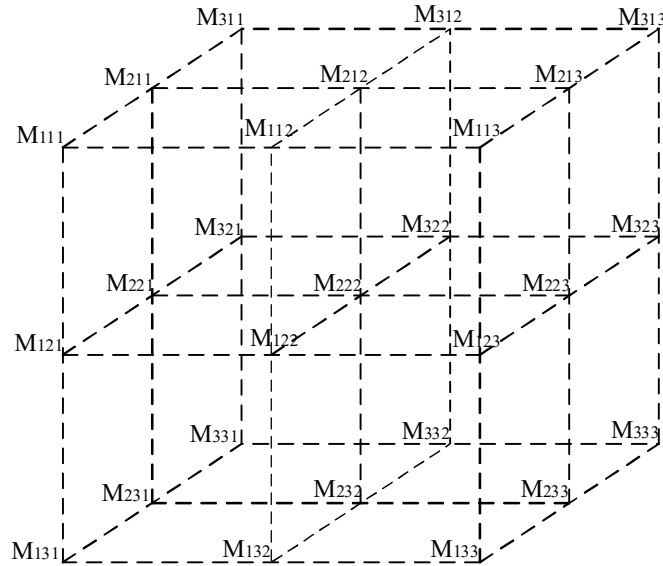


Рис. 4.3. Графічне представлення багатовимірного простору у вигляді тривимірної кубічної матриці

Матриця складається зі значень точок багатовимірного простору. Якщо точка не включена в опис тематичної галузі, то її значення дорівнює "нулю".

Алгебра багатовимірних матриць містить 6 операцій:

- 1) область доступу,
- 2) об'єднання,
- 3) перетин,
- 4) різниця підпросторів багатовимірних матриць,
- 5) переріз
- 6) зріз.

Необхідно описати кожен з операцій для багатовимірних матриць.

Операція "Зона доступу" для користувача називається багатовимірною матрицею наступного виду:

$$M_{u_i} = \Phi(M_{MDS}) = \left\| m_{v,s,id,t,u} \right\|, \quad (4.16)$$

$$\phi(v,s,id,t,u) = true,$$

де $\phi(v,s,id,t,u)$ — це функція перевірки приналежності елемента матриці координатам $p = \langle v,s,id,t,u \rangle$ області доступу, визначеної користувачем. Область доступу робить доступною ту частину багатовимірного простору, до якої користувач має доступ.

Нехай дві багатовимірні матриці M_A і M_B задані наступним чином:

$$M_A = \left\| m_{v_A, s_A, id_A, t_A, u_A} \right\|,$$

$$v_A \in V_A \subseteq V, s_A \in S_A \subseteq S, id_A \in ID_A \subseteq ID,$$

$$t_A \in T_A \subseteq T, u_A \in U_A \subseteq U,$$
(4.17)

$$M_B = \left\| m_{v_B, s_B, id_B, t_B, u_B} \right\|,$$

$$v_B \in V_B \subseteq V, s_B \in S_B \subseteq S, id_B \in ID_B \subseteq ID,$$

$$t_B \in T_B \subseteq T, u_B \in U_B \subseteq U,$$
(4.18)

Операція "Об'єднання" підпросторів багатовимірних матриць, визначається наступним чином:

$$M_D = M_A \cup M_B = \left\| c_{v_D, s_D, id_D, t_D, u_D} \right\|,$$

$$v_D \in V_A \cup V_B, s_D \in S_A \cup S_B, id_D \in ID_A \cup ID_B,$$

$$t_D \in T_A \cup T_B, u_D \in U_A \cup U_B.$$
(4.19)

Операція "Перетин" підпросторів багатовимірних матриць визначається наступним чином:

$$M_D = M_A \cap M_B = \left\| c_{v_D, s_D, id_D, t_D, u_D} \right\|,$$

$$v_D \in V_A \cap V_B, s_D \in S_A \cap S_B, id_D \in ID_A \cap ID_B,$$

$$t_D \in T_A \cap T_B, u_D \in U_A \cap U_B.$$
(4.20)

Операція "Різниця" підпросторів багатовимірних матриць, визначається наступним чином:

$$\begin{aligned}
M_D &= M_A \setminus M_B = \left\| c_{v_D, s_D, id_D, t_D, u_D} \right\|, \\
v_D &\in V_A \setminus V_B, s_D \in S_A \setminus S_B, id_D \in ID_A \setminus ID_B, \\
t_D &\in T_A \setminus T_B, u_D \in U_A \setminus U_B.
\end{aligned}
\tag{4.21}$$

Оскільки всі багатовимірні матриці є частинами одного і того ж багатовимірного простору, то в різних матрицях елементи, що мають однакові індекси, мають однакові значення. Отже, при операціях об'єднання, перетину та різниці між підпросторами багатовимірних матриць немає необхідності перевіряти значення точок у просторі.

Результатом цих операцій завжди буде багатовимірна матриця, що описує відповідну певну частину загального багатовимірного простору. Набір елементів матриці з фіксованим значенням індексів називається перетином з орієнтацією.

Операція "Перетин" багатовимірної матриці являє собою багатовимірну матрицю наступного виду:

$$M_\theta = \theta_f \left\| m_{i_1, \dots, i_n} \right\| \tag{4.22}$$

де f — функція для перевірки логічної умови для індексів вихідної багатовимірної матриці.

Операція "Переріз" існує на різних рівнях. Розділ першого рівня являє собою n -вимірну матрицю, в якій фіксовано значення одного індексу. Секція другого рівня називається N -вимірною матрицею, в якій фіксовані значення двох індексів і т. д. Графічне представлення операції "Секція" показано на рис. 4. У прикладі показаний результат операції "Секція", коли третя координата фіксується в тривимірній матриці. Результатом операції є двовимірна матриця.

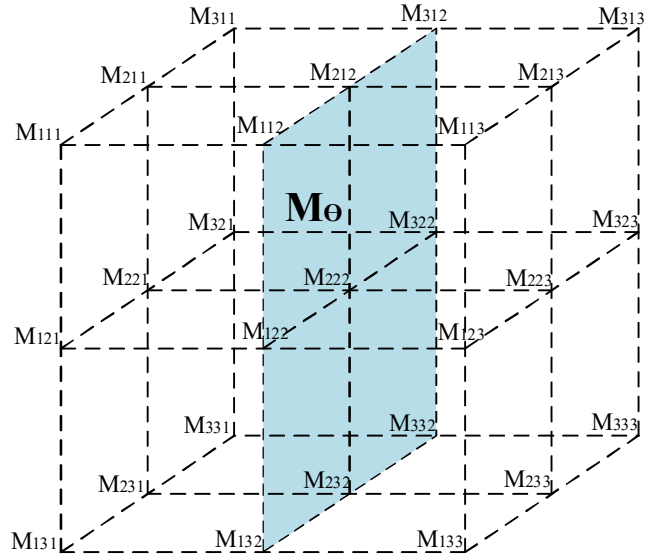


Рис. 4.4. Графічне представлення операції "Переріз"

Операція "Зріз" (рис.4.5) багатовимірної матриці, являє собою багатовимірну матрицю наступного виду:

$$M_{\psi} = \Psi_f \left\| m_{i_1, \dots, i_n} \right\| \tag{4.23}$$

де $f(i_1, \dots, i_n)$ — це функція для перевірки логічної умови, яка не включає рівність індексів певному значенню.

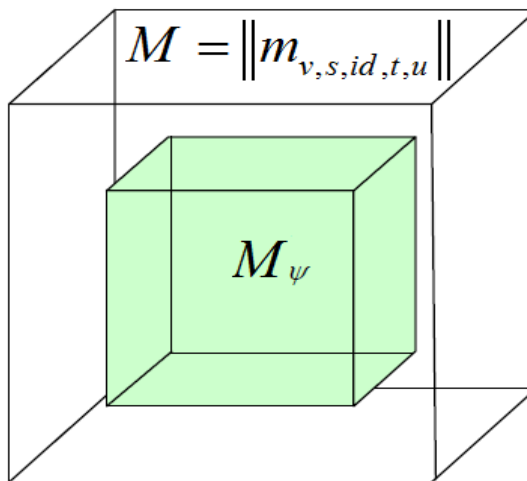


Рис.4.5.Графічне представлення операції "Зріз"

Операції алгебри багатовимірних матриць можна розглядати як розширення операцій реляційної алгебри та існуючої мови SQL. Ці операції використовуються для динамічного формування зв'язків реляційної моделі, що зберігається в багатовимірному просторі в залежності від умов, що накладаються на координати точок.

Операції алгебри багатовимірних матриць призначені для обробки індексів елементів матриці. Ці операції не аналізують значення елементів матриці, а формують взаємозв'язки реляційної моделі в залежності від умов, що накладаються на індекси. Алгебра визначається на наборі багатовимірних матриць, отриманих з багатовимірного простору, що представляє всю реляційну модель даних. Це гарантує, що при застосуванні введених операцій над багатовимірними матрицями не відбувається виходу за межі багатовимірного простору, що представляє всю реляційну модель даних.

Запропонована структура багатовимірного простору для адаптованої моделі даних і введена багатовимірна матрична алгебра для роботи з цим простором. Визначено п'ять основних осей багатовимірного простору (сутності, атрибути, ідентифікатори, час і модифікатори) для розробки адаптованої автоматизованої системи. Операції алгебри багатовимірних матриць можна розглядати як розширення операцій реляційної алгебри та існуючої мови SQL. Ці операції використовуються для динамічного формування зв'язків реляційної моделі, що зберігається в багатовимірному просторі, в залежності від умов, що накладаються на координати точок. Потім, щоб отримати кінцевий результат запиту за отриманими відносинами, необхідно застосувати операції реляційної алгебри. Така адаптована модель представлення даних, заснована на багатовимірному просторі, може бути використана для створення гнучких динамічних автоматизованих інформаційних систем при розв'язанні задач просторового планування.

4.2. Метод верифікації інформаційних моделей об'єктів просторового планування

Необхідність автоматизованої верифікації інформаційних моделей ОПП для пошуку помилок і колізій, а також для приведення їх у відповідність до будівельних правил і норм виникла одночасно із застосуванням технології інформаційного моделювання. Однак більшість досліджень [74, 162, 204, 313] щодо цієї теми стосувалися моделей, розроблених на етапі проектування життєвого циклу об'єкта будівництва. Однією із основних задач використання технології інформаційного моделювання в інвестиційних проєктах є підвищення якості об'єктів нерухомості на етапі експлуатації: будівель, споруд, лінійних об'єктів тощо. Досягнення цієї мети відбувається не тільки за рахунок зміни самих процесів проектування і управління будівництвом, а й за рахунок появи нового підходу до перевірки результатів проектування та будівництва. Звична схема експертизи проєктної документації передбачає роботу з паперовими кресленнями, які аналізуються експертами, що робить цей процес безпосередньо залежним від людського фактора. Інформаційна модель ОПС надає можливість застосовувати інший спосіб опрацювання інформації, що міститься в ній, а саме виконувати її автоматизовану перевірку [317]. При цьому можлива організація процесу перевірки якості моделі не тільки на якійсь одній певній стадії, а й на кожному з етапів життєвого циклу (ЖЦ), включаючи етап майбутньої експлуатації об'єкта. Розробки з цієї тематики ведуться вже багато років робочими групами з різних країн. У Норвегії, Сінгапурі, Австралії та США такі дослідження досягли досить серйозних успіхів [318, 319].

Створення універсальної автоматизованої системи перевірки інформаційної моделі, яка застосовується скрізь, є водночас і актуальним і проблематичним завданням. Основними причинами проблематичності є значні відмінності в системах стандартизації і підходах до організації процесів

проектування і будівництва між країнами. Однак, з огляду на все більший рівень всесвітньої глобалізації, а також на виконання інвестиційно-будівельних проєктів міжнародними командами, актуальною і необхідною є розробка нового методу верифікації якості інформаційної моделі об'єкта будівництва, від застосування якого безпосередньо залежить ефективність розвитку технології інформаційного моделювання в цілому.

Виникає потреба розробити узагальнений метод верифікації інформаційних моделей ОПП, який буде визначати ключові параметри для комплексної перевірки якості конкретної моделі, який має виявити відповідність вимог замовника вимогам нормативно-технічної документації, та визначити вимоги до рівня деталізації інформаційної моделі ОПП.

Інформаційні моделі ООП можна поділити на такі групи за рівнем зростання комплексності:

- моделі окремих елементів або типів (атомарні моделі);
- моделі окремих будівельних систем;
- інтегровані моделі.

Інтегрована модель є результатом колективної роботи фахівців різних сфер інвестиційно-будівельної діяльності. Таким чином вона є результируючою моделлю, а отже, є сенс говорити про перевірку інтегрованої інформаційної моделі на цілісність. Необхідність такої перевірки обумовлена відмінністю в підходах, які використовують розробники програмних продуктів, що не завжди піклуються про суворе дотримання стандартів класифікації IFC формату [315]. Пропонується розробити метод проведення комплексної перевірки якості інформаційної моделі. Перевірка інших груп моделей, на погляд автора, є підмножиною такого виду перевірки.

Ключовими завданнями перевірки якості інформаційної моделі є перевірка на відповідність вимог нормативно-технічних документів вимогам

замовника. Можна виділити такі класи вимог: міжнародні вимоги, міждержавні вимоги, державні (національні) вимоги, галузеві вимоги, технічні умови, спеціальні технічні умови і відповідність вимогам замовника (проєкту). Взаємозв'язок вищенаведених вимог представлено на рис.4.1.

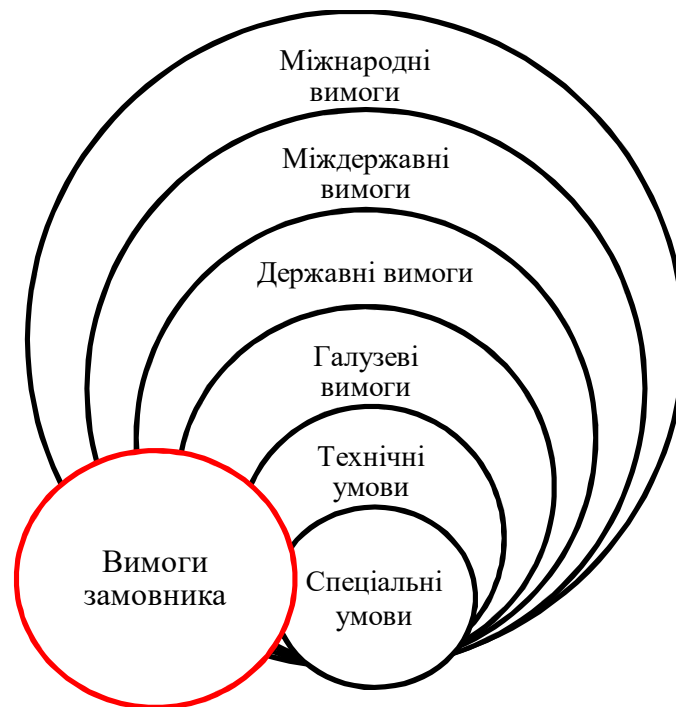


Рис. 4.6. Взаємозв'язок вимог нормативно-технічної документації і вимог замовника

Проводити перевірку якості ІМ ОПП одночасно на відповідність повному переліку наведених вище вимог і нормативів немає сенсу. По-перше, така кількість перевірок вимагає значного часу і комп'ютерних ресурсів, а по-друге, недоцільно проводити всі перевірки, тому що для кожного типу ОПП можна визначити набір перевірок, необхідних тільки для певного регіону і певного типу об'єкта. Визначення регіону допомагає обмежити кількість застосовуваних стандартів, а визначення типу об'єкта дає змогу звужити перелік нормативно-технічних актів для аналізу.

Визначення типології об'єктів будівництва необхідно проводити таким чином, щоб отриманий атомарний елемент цієї типології давав змогу однозначно характеризувати ОПП. Виходячи з типології антропогенних об'єктів [257], для цілей дослідження і розробки загального методу будемо використовувати загальну схему класифікації антропогенних об'єктів, представлену на рис. 4.7.

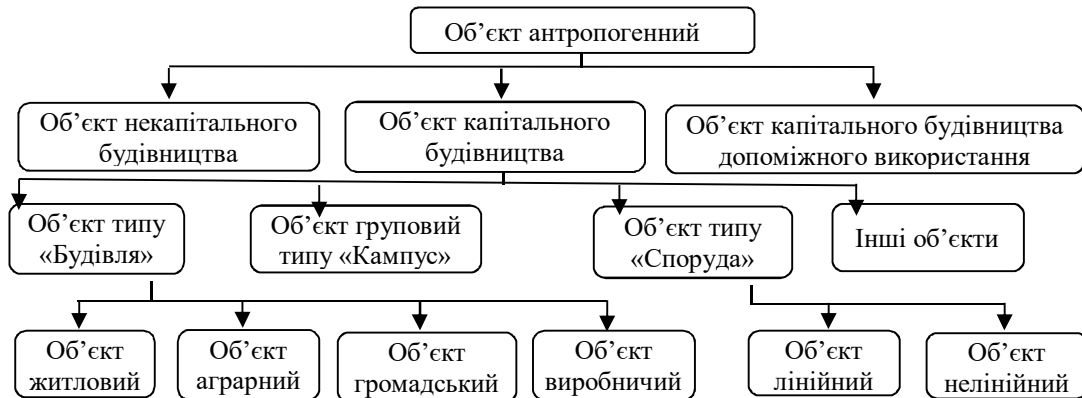


Рис. 4.7. Класифікація антропогенних об'єктів

Після визначення типу об'єкта необхідно визначити, для якої стадії інвестиційно-будівельного проекту підготовлена інформаційна модель. Водночас необхідно визначити вимоги до рівня деталізації інформаційної моделі. Такі вимоги до рівня деталізації і опрацювання інформаційної моделі ОПП повинні бути уточнені додатково. На основі наведених вище параметрів, а також параметрів, які можуть бути визначені користувачем додатково, формується список правил, відповідно до яких буде проводитися перевірка якості інформаційної моделі. Узагальнену блок-схему методу перевірки якості інформаційної моделі представлено на рис. 4.8.

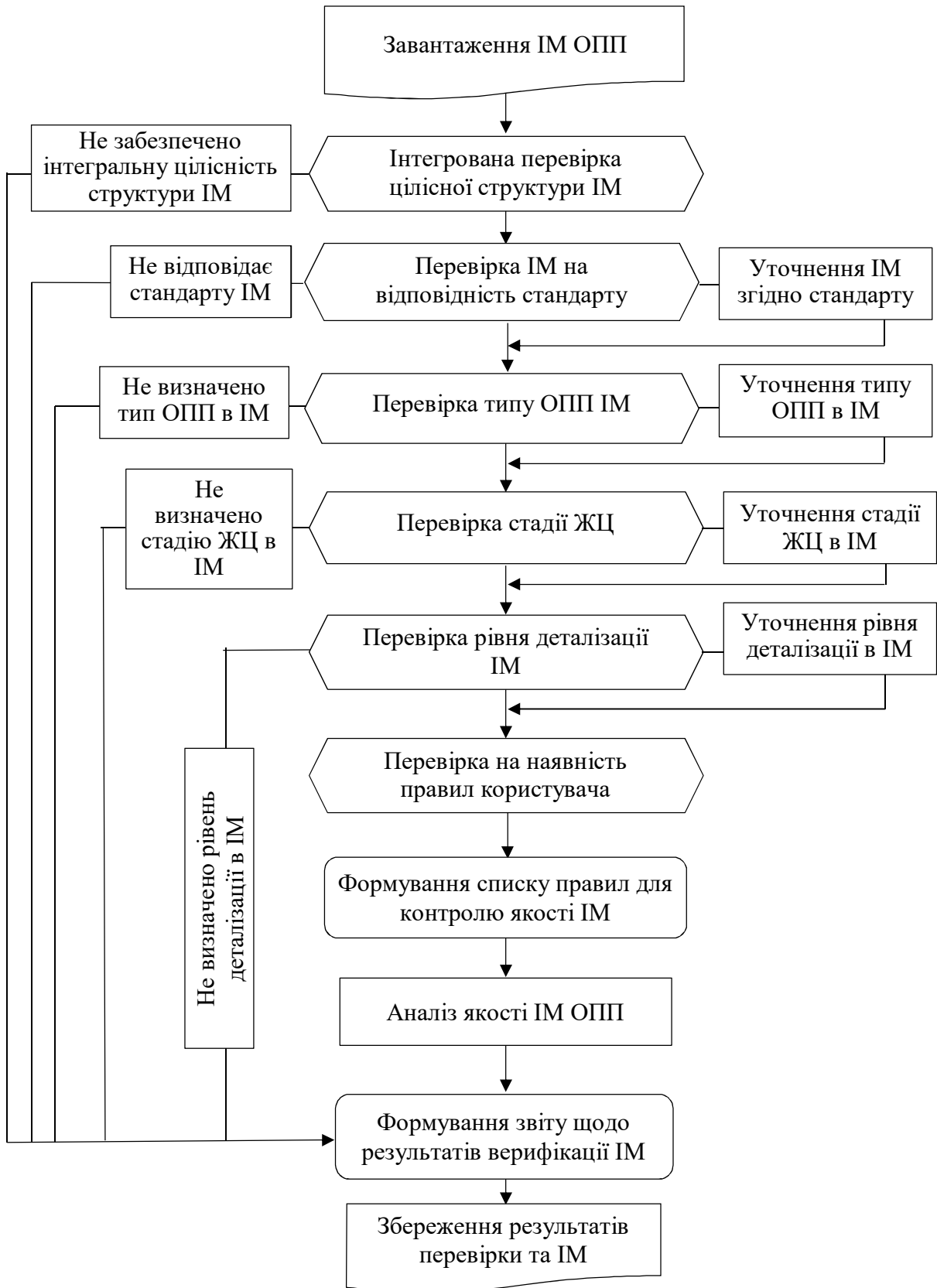


Рис. 4.8. Блок-схема методу перевірки якості інформаційної моделі ОПП

4.3. Метод багатоаспектної класифікації для валідації моделей об'єктів просторового планування

Інформаційне моделювання ОПС потребує нового підходу до організації процесів розташування ОПП та їх використання для подальшої експлуатації як об'єктів нерухомості. Склад цифрової моделі ОПП на кожному етапі життєвого циклу будівельного проєкту відрізняється кількістю і якістю інформації. Перехід від одного етапу життєвого циклу до іншого може супроводжуватися втратою деяких даних або некоректним використанням наявної інформації. Крім того, в процесі роботи в моделях кожного наступного етапу можуть з'явитися відхилення від параметрів попередньої моделі. Застосування в ОПС моніторингу і управління на кожному етапі ЖЦ ОПП підвищить ефективність управління будівельними процесами і допоможе виявити відхилення від встановлених параметрів, тим самим дозволяючи своєчасно виконувати необхідні дії.

Для визначення переліку вимог до змісту, функціоналу і правильності побудови інформаційної моделі ОПП залежно від стадії ЖЦ необхідно звернутися до міжнародних стандартів, що регламентують сферу інформаційного моделювання. Як і сам об'єкт будівництва, його інформаційна модель трансформується протягом етапів ЖЦ [129].

Для реалізації інтегрованого підходу до управління інформацією на основі технології інформаційного моделювання пропонується загальна схема ВІМ-моделей ОПП на етапах ЖЦ, яка представлена на рис. 4.9. Це означає, що набір вимог до кожного етапу ЖЦ ВІМ-моделі ОПП буде змінюватися відповідним чином.

Згідно міжнародного стандарту «Інформаційне моделювання в будівництві» [128] залежно від стадії ЖЦ можна виокремити п'ять етапів розроблення інформаційної моделі ОПП:

1. Концептуальна – PRE-BIM модель;
2. Проектна – D-BIM модель;
3. Будівельна – C-BIM модель;
4. Експлуатаційна – E-BIM модель;
5. Реноваційна – RE-BIM модель.

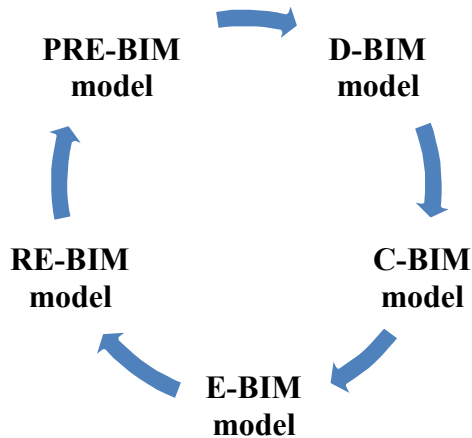


Рис. 4.9. Цифрові ІМ ОПП на етапах життєвого циклу проекту будівництва

Будівельна C-BIM модель є проектною D-BIM моделлю з новими атрибутами, а експлуатаційна E-BIM модель формується шляхом виключення з будівельної C-BIM моделі тих даних, що належить виключно до етапу виробництва будівельних робіт. Отже, логічно припустити, що перед переходом інформаційної моделі на наступний етап ЖЦ необхідно виконувати верифікацію на відповідність її даних стадії за алгоритмом, розробка якого запропонована автором в підрозділі 4.2.

Перехід від одного етапу до іншого може супроводжуватися втратою деяких даних або неправильним використанням наявної інформації. Крім того, при роботі в моделях кожного наступного етапу можуть з'являтися відхилення від параметрів попередньої моделі. Використання систем моніторингу та управління в BIM-моделях на кожному етапі життєвого циклу будівлі підвищить ефективність управління будівельним процесом і допоможе виявляти

відхилення від встановлених параметрів, тим самим дозволяючи своєчасно вживати коригувальні дії. Інструмент перевірки правил для BIM-моделі може бути реалізований у вигляді різних типів платформ, таких як:

- додаток, вбудований в інструмент проєктування;
- автономний додаток, що працює паралельно з інструментом проєктування;
- веб-додаток, що дозволяє завантажувати проєкти з різних джерел.

Кожна з цих платформ застосовна для певних цілей. В даний час розробка більшою мірою зосереджена в області веб-версій таких програм.

Програми перевірки правил працюють з моделлю IFC, яка є універсальним форматом BIM-технології. На основі вихідної моделі IFC, при необхідності, можуть бути згенеровані додаткові подання, з яких буде витягнута інформація, необхідна для перевірки, але не представлена в основній моделі. Результати, які були отримані в ході верифікації моделі, повинні бути представлені фахівцеві в зручній для вивчення формі. Також повинні бути запропоновані варіанти усунення виявлених помилок.

Узагальнену схему кроків методу валідації BIM-моделей ОПП надано на рис. 4.10.

Специфічною особливістю переходу від D-BIM до C-BIM на етапі будівництва є зміна типу моделі. BIM-модель статична, оскільки остаточні рішення були схвалені експертами органів з розгляду проєктів. C-BIM модель є динамічною. Щоб зрозуміти, які перевірки необхідні для BIM-моделі на етапі будівництва, перш за все, необхідно визначити, яку інформацію містить модель на даному етапі життєвого циклу [172].

Основні напрямки життєвого циклу території, які необхідно відстежувати за допомогою BIM-моделей, представлені на рис. 4.11.

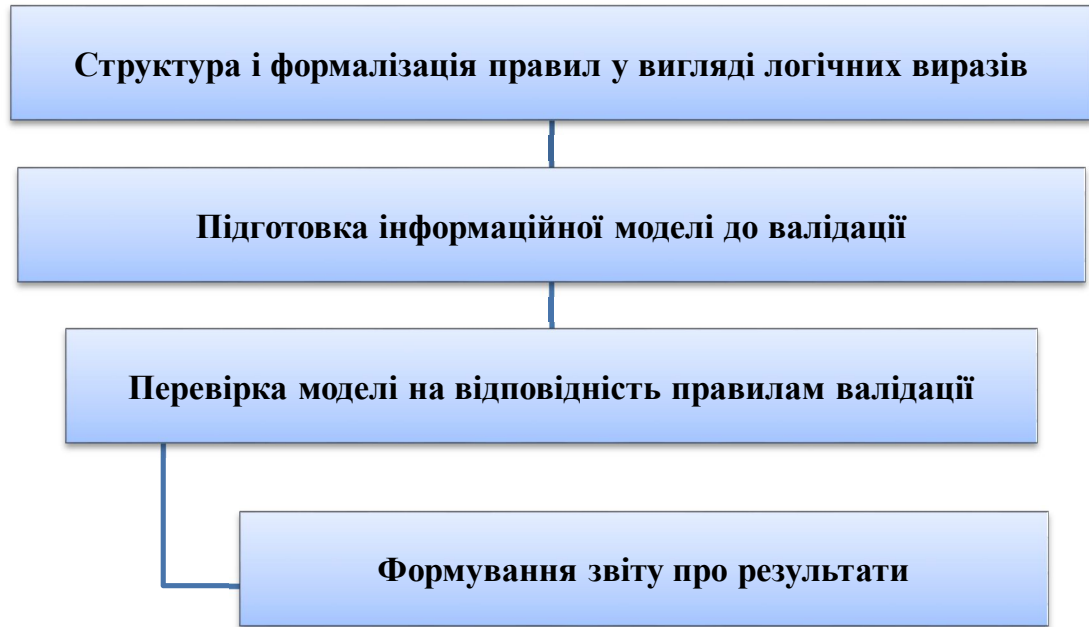


Рис. 4.10. Узагальнена схема кроків методу валідації BIM-моделей ОПП

Виконання описаних керуючих дій правильніше виконувати не візуально, а в автоматичному режимі, використовуючи відповідне програмне забезпечення або плагін перевірки. Перевірити адекватність ЦІМ ОПП можна порівнюючи результати, які отримані під час моделювання, з фактичними параметрами.

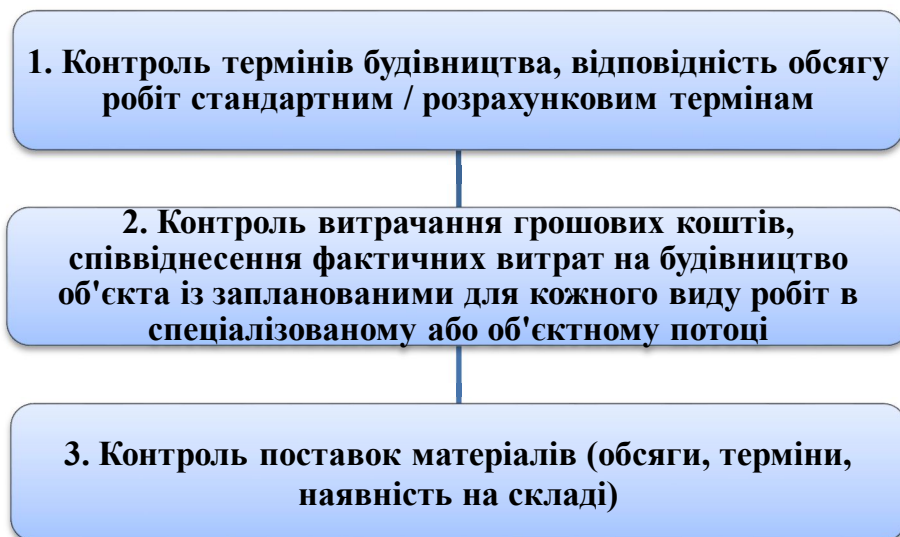


Рис.4.11. Основні напрямки моніторингу БП з використанням BIM-моделі

Основним правилом на етапі будівництва є перевірка того, що фактичні результати в С-BIM моделі, узгоджуються з результатами еталонної моделі проектування D-BIM моделі. Якщо вони несумісні, необхідно визначити різницю в часі або в коштах, як основних показниках зміни техніко-економічних показників об'єкта (табл.4.1).

Таблиця 4.1

Вхідні і вихідні дані за типами моделей ОПП на кожному етапі ЖЦ .

Етап ЖЦ ТПЗ	BIM модель ОПП	Вхідні дані	Типи моделей об'єктів на етапі ЖЦ	Вихідні дані (результат)
1. Концепція	PRE-BIM модель	Ідея, концепція, ТУ	3D (або 2D)-модель	ТЗ на проектування
2. Проект	D-BIM модель	ТЗ на проектування, ДБН	4D (або 5D)-модель	Висновок експертизи проекту
3. Будівництво	C-BIM модель	4D (або 5D) модель, затверджена експертизою	Багатовимірна інформаційна модель N-D-модель	Введення в експлуатацію об'єкта будівництва
4. Експлуатація	E-BIM модель	Багатовимірна інформаційна модель	Розширена багатовимірна інформаційна модель N-D-модель +	Звіти з моніторингу
5. Реновація/ реконструкція/ рекомпозиція	RE-BIM модель	Розширена багатовимірна інформаційна модель	Реноваційна багатовимірна інформаційна модель N-D-модель ++	Введення в експлуатацію після реновації

На кожній стадії життєвого циклу ОПП вирішуються різні BIM завдання. Це визначає істотні відмінності у вимогах до структури та наповнення використовуваних цифрових інформаційних моделей об'єктів ГП.

2D-модель – це плоскі креслення і дані, представлені в текстовій і числовій формі;

3D-модель – це тривимірні креслення у графічному вигляді;

4D-модель – це тривимірна модель з урахуванням даних щодо термінів будівництва з прив'язкою до календарного графіку;

5D-модель – це тривимірна модель з урахуванням даних щодо вартості і термінів будівництва з прив'язкою до календарного графіку;

N-D-модель – це багатовимірна модель, що враховує оперативні дії на будівельному майданчику в кожен момент часу;

N-D-модель + – це багатовимірна модель з урахуванням даних за результатами моніторингу роботи та обстеження об'єкта будівництва для подальшої перебудови;

N-D-модель ++ – це експлуатаційна багатовимірна модель з урахуванням даних за проектом і фактом виконання робіт з модернізації об'єкта нерухомості (реконструкції / реновації / рекомпозиції).

Для представлення структури перевірок інформаційних моделей ОПП пропонується відповідна класифікація, а як інструмент дослідження пропонується використати метод багатоаспектної фасетної класифікації. Перевагою такого методу є його гнучкість, яка обумовлена тим, що зміни в одному з фасетів не роблять істотного впливу на інші фасети, а також мають можливість розширити структуру класифікації додаванням нових фасетів.

Для валідації інформаційних моделей ОПП було визначено п'ять ознак, на підставі яких були сформовані відповідні фасети, які представлені на рис. 4.12.

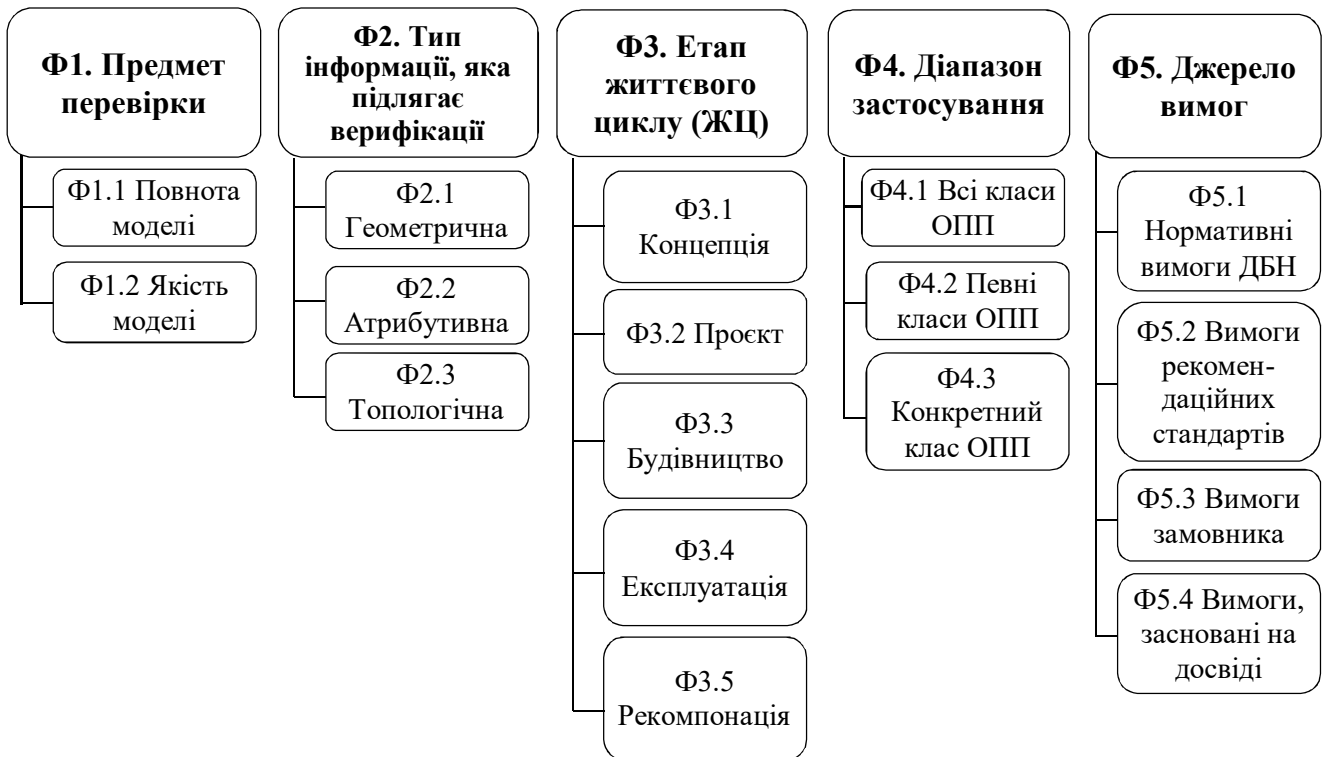


Рис. 4.12. Фасети верифікації інформаційних моделей ОПП

Розглянемо кожну із фасетів, наданих на рис. 4.12, більш докладно.

Фасет «Предмет перевірки» (Ф1).

Ф1.1. Повнота моделі. Під повнотою інформаційної моделі ОПП наявність в ній певних елементів, їх властивостей і наповненість останніх. Модель має забезпечувати можливість виконання перевірки всього обсягу передбачених для неї вимог, містити всі елементи і атрибути, зазначені в правилах перевірки. Цей тип перевірки також часто називають перевіркою на верифікаційний мінімум. Крім того, модель має бути повною з точки зору вимог до складу проектної документації.

Ф1.2. Якість моделі. Під якістю інформаційної моделі ОПП розуміється відповідність представлених в ній фактичних значень атрибутів і відносин між елементами, формальним визначенням у вимогах.

Фасет «Тип інформації, яка перевіряється» (Ф2).

Ф2.1. Геометрична інформація. До верифікації геометричної інформації належать перевірки на достовірність просторової інформації, яка характеризує місце розташування ОПП згідно просторової прив'язки, а також вимоги нормативних документів, що пов'язані з оцінкою розмірів, площ та об'ємів.

Ф2.2. Атрибутивна інформація. Перевірці підлягають якісні або кількісні характеристики ОПП, що не мають відношення до геометричних параметрів.

Ф2.3. Топологічна інформація. Необхідність перевірки щодо колізії та нестиківки між ОПП, яка обумовлена необхідністю дотримання вимог і нормативів щодо їх взаємного розташування.

Фасет «Етап життєвого циклу» (Ф3).

Як і сам ОПП, його інформаційна модель трансформується для різних етапів життєвого циклу. Вимоги до експлуатаційної моделі об'єктів завершеного будівництва має визначитися організацією-власником об'єкта або експлуатуючою організацією, виходячи з її вимог до інформації.

Фасет «Діапазон застосування» (Ф4).

Діапазон застосування визначається джерелом вимог. Так, для того щоб встановити, на які ОПП поширюється дія вимог нормативного документа, необхідно проаналізувати сферу його застосування. У даному розділі стандарту вказується, чи може він застосовуватися до всіх ОПП або можуть бути встановлені обмеження застосування. Своєю чергою рекомендації, розроблені на основі досвіду проєктування і планування, так само можуть стосуватися або всіх об'єктів ОПП, або якогось певного типу об'єкта (наприклад, школи, лікарні, торговельного центру або парку культури), якщо організація спеціалізується на їх проєктуванні або будівництві. ОПС вирішення задачі для конкретного будівельного проєкту як правило пов'язані з ергономічним компонуванням і особливостями розташування ОПП і встановлюються замовником або проектною організацією.

Фасет «Джерело вимог» (Ф5).

Ф5.1. Вимоги нормативних документів. Такі вимоги формуються на підставі офіційно затверджених стандартів та ДБН. З огляду на особливості системи стандартизації України, можна виокремити такі групи перевірок цього виду:

- перевірка на відповідність національним стандартам, у тому числі введеним як національних міждержавних, регіональних і міжнародних стандартів;
- перевірка на відповідність правил з проектування та будівництва;
- перевірка на відповідність спеціальними технічними умовами на проектування і будівництво (ТУ).

Ф5.2. Вимоги на базі рекомендаційних стандартів. За останні роки з'явилася значна кількість рекомендаційних вимог, більшою мірою пов'язаних з впливом будівельного об'єкта на навколишнє середовище.

Безсумнівно, верифікація моделі на відповідність обов'язкових до дотримання нормативних документів є першочерговим завданням, але незабаром цей підхід буде актуальним і у сфері «зелених» та інших стандартів.

Ф5.3. Вимоги замовника. Замовник може висунути власні додаткові вимоги до конкретного реалізованого проекту. Природно, що вимоги, отримані на основі досвіду організації, і вимоги, визначені замовником, не повинні суперечити нормативній документації.

Ф5.4. Вимоги, засновані на досвіді розробки ОПС та вирішення задач просторого планування територій. У процесі діяльності проектної або будівельної організації на підставі її практичного досвіду можуть з'являтися знання, які надалі можуть визначати вимоги до моделей ОПП.

Отже, фасетна класифікація – це сукупність декількох незалежних класифікацій, що здійснюються одночасно за різними ознакам, в якій поняття

представлені у вигляді перетину ряду аспектів (фасет). Класифікаційні індекси синтезуються шляхом поєднання фасетних ознак відповідно до фасетної формули:

$$Ks = (\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3, \Phi 4, \Phi 5). \quad (4.24)$$

Позиція представленої класифікації Ks формується шляхом отримання комбінації обраних значень з кожної фасети.

Наприклад: $K1$ = (якість моделі; вимоги нормативних документів; всі елементи ГП; геометрична; перевірки проєктних моделей). Фасетною формулою позиція $K1$ описується таким чином:

$$K1 = (\Phi 1.2; \Phi 2.1; \Phi 3.2; \Phi 4.1; \Phi 5.1). \quad (4.25)$$

Формула (4.25) визначає процес перевірки відповідності параметрів моделі вимогам нормативних документів, які поширюються на всі класи ОПП, при цьому буде перевірятися тільки геометрична інформація проєктної моделі ОПП. Першочерговим завданням верифікації ІМ ОПП є перевірка на якість моделі відповідно до вимог нормативних документів, оскільки саме її результати можуть безпосередньо впливати на прийняття рішення про проходження експертизи проєктної документації, а також на безпеку побудованого об'єкта. Підходи, розроблені для такого типу верифікації, можуть поширюватися на інші типи перевірок з необхідною адаптацією. Оцінка повноти моделі також є обов'язковою як спосіб забезпечення можливості проведення основної перевірки інформаційної моделі. Найбільш важливою, з точки зору забезпечення якості проєктної документації, є верифікація на відповідність нормативним документам. Решта перевірок можуть бути реалізовані на базі підходів, розроблених для такого типу верифікації. Оцінка повноти моделі також є обов'язковою як спосіб забезпечення можливості проведення основної перевірки інформаційної моделі. Наявність інструменту валідації моделі на етапі будівництва для замовника є потужним інструментом

управління, який дасть змогу розв'язувати колізії і знаходити рішення, що впливають на подальший процес будівництва та його успішне завершення.

Створюючи в часі накопичувальні ВІМ-моделі ОПП по ланцюжку, представленому на рис.4.9, формується опис процесу просторового планування території як частини системи ЖЦ проекту будівництва і з'являється можливість аналізувати реальність майбутніх доробок, зміни та множину необхідних витрат всіх видів ресурсів.

4.4. Метод визначення рівнів деталізації об'єктів просторового планування у складі інформаційної моделі міської території

Відповідно до проведеного дослідження методів обробки просторової інформації у тривимірному вигляді [47, 66, 119, 124, 141, 150, 173], можна зробити такі висновки про вибір методу моделювання території міського об'єкта:

1. Метод тривимірного моделювання має бути ефективним та економічно вигідним, витрати на розробку тривимірної моделі мають відповідати її якості.

2. Тривимірна модель для підтримки прийняття рішень в об'єктно-просторових системах на міських об'єктах повинна мати високу точність, геометричну детальність і зберігати інформацію про всі просторові об'єкти міської території, включаючи підземні та наземні комунікації, а за потреби і внутрішні планування будівель та споруд.

3. Тривимірна модель має бути динамічною і допускати внесення змін про просторові об'єкти, які розташовані на території, без додаткових витрат на отримання даних, але при цьому здійснювати доступний механізм оновлення існуючих даних, що отримуються при моніторингу технічного стану об'єкта.

4. Тривимірна модель має забезпечити можливість поетапного нарощування функціоналу протягом життєвого циклу проекту будівництва.

Наявні інструментальні засоби, які реалізують підходи до тривимірного моделювання міської забудови, не вирішують в повній мірі всіх проблем пов'язаних із розробкою трьохвимірних моделей міських об'єктів для вирішення завдань просторового планування, оскільки для побудови тривимірних моделей міських об'єктів, що мають складну структуру, представлену у вигляді комплексу будівель та споруд і розгалуженої мережі інженерних комунікацій, необхідно забезпечити різнорівневу деталізацію перерахованих об'єктів у взаємозв'язку з завданнями, що вирішуються. Крім того, для досягнення прийняттого рівня функціональності тривимірних моделей необхідно забезпечити обробку інформації про міські об'єкти, представлену з різних джерел даних (векторних картах, растрових технологічних схемах, текстових документах та інше) для інтерпретації, якою необхідно провести операції аналізу, зіставлення та узагальнення.

Таким чином, у зв'язку із зазначеними аспектами розробка методу визначення складу та структури тривимірних моделей міської території у взаємозв'язку з різнорівневою деталізацією просторових об'єктів, який дозволить побудувати складну тривимірну модель із застосуванням комплексу інструментальних засобів. Розробка методу визначення рівнів деталізації для просторових об'єктів, що входить до складу тривимірної інформаційної моделі міської території з метою зменшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних з візуалізацією в об'єктно-просторових системах можливо використовувати для підтримки прийняття рішень, наприклад при виборі проекту планувальних рішень або ліквідації аварійних ситуацій.

Аналіз об'єктів, розташованих на міських територіях, показав, що крім будівельних споруд важливе значення для підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій мають інженерні комунікації та спеціальне обладнання для їх обслуговування (рис. 4.13). Пропонується модифікувати метод визначення складу та структури інформаційної моделі міської території,

запропонований у роботі [5] для промислових об'єктів, за рахунок застосування адаптивної концепції різнорівневої деталізації для міських об'єктів. Для розвитку даного методу доцільно виділити такі рівні деталізації:

1 рівень (LoD_{E1}). Відображення будівель та споруд у вигляді полігональних об'єктів у тривимірному вигляді, що відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації $LOD1$ шляхом витягування їх у просторі по висоті, а також доріг та огорож території, розташованих відносно поверхні рельєфу.

2 рівень (LoD_{E2}). До тривимірної моделі міського об'єкта рівня LoD_{E1} додається відображення будівель та споруд з різними конструкціями (вікна, двері та інше), що відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації $LOD3$, що надають більш реалістичний вигляд моделі міського об'єкта і використовується для орієнтації на місцевості.

3 рівень (LoD_{E3}). До тривимірної моделі міського об'єкта рівня LoD_{E2} додаються інженерні комунікації, трубопроводи та обладнання.

4 рівень (LoD_{E4}). На цьому рівні відображаються всі об'єкти рівня LoD_{E3} , а також до будівель і споруд додаються детальні внутрішні планування (відповідає загальноприйнятому стандарту деталізації LoD_{E4}).

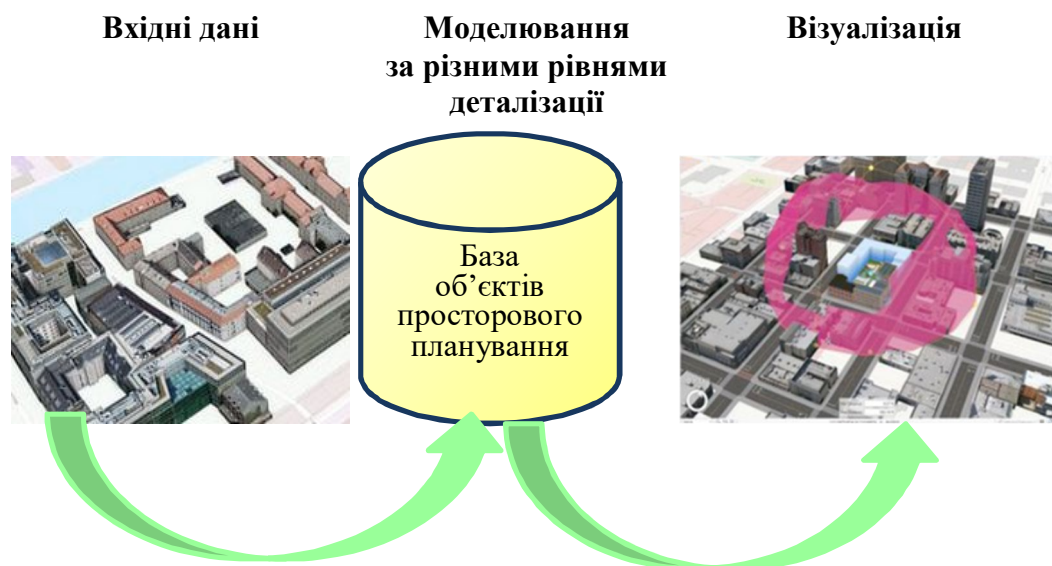


Рис. 4.13. Загальна концепція методу визначення рівнів деталізації об'єктів просторового планування у складі тривимірної моделі міської території

Для моделювання прилеглої території достатньо мати інформацію про місце розташування та висоту будівель. Для таких просторових об'єктів достатнім є рівень деталізації LoD_{E1} . Для об'єктів, що не мають внутрішнього планування (склади, ангари та інше), але які необхідні для орієнтації на місцевості та надання моделі реалістичного вигляду, може бути застосований рівень деталізації LoD_{E2} . Для лінійних об'єктів із спеціальним обладнанням – LoD_{E3} , а для відображення тривимірних моделей із внутрішніми плануванням будівель необхідно використовувати рівень деталізації LoD_{E4} .

Прагнення підвищити рівень деталізації моделі призводить до збільшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних із візуалізацією та перетворенням моделей. У зв'язку з цим необхідно визначити критерії складу та структури тривимірної моделі, а також умови та механізми відображення тривимірних моделей міських об'єктів з урахуванням рівня деталізації. Для здійснення підтримки прийняття рішень щодо ліквідації АС необхідно, щоб склад та структура тривимірної моделі просторового об'єкта відповідали таким критеріям з урахуванням адаптованої концепції рівня деталізації:

1) Створена модель має містити високо деталізовані просторові об'єкти (O_j) рівня LoD_{E4} , при цьому кількість деталізованих об'єктів не повинна перевантажувати модель та ускладнювати її використання.

2) Склад моделі повинен визначатися кількістю об'єктів різного рівня деталізації відповідно до завдання користувача. Так, наприклад, при аналізі аварійної ситуації на території міського об'єкта необхідно мати детальне уявлення рівня LoD_{E2} про об'єкти, що потрапили в аварійну зону.

3) Незалежно від локалізації АС навколо міського об'єкта, тривимірна модель завжди має візуалізувати стратегічно важливі об'єкти (СВО) O_{cvo} , які можуть бути задіяні при ліквідації АС. СВО можуть являти собою будівлі та споруди рівня деталізації LoD_{E2} та комунікації рівня LoD_{E3} .

4) За умови великої завантаженості тривимірної моделі об'єктами, що відображають реальне планування території, просторові об'єкти рівня LoD_{E4} слід відображати лише за потреби.

З урахуванням наведених критеріїв, завдання визначення складу та структури тривимірної моделі міського об'єкта на основі різнорівневої концепції деталізації можна сформулювати в наступному вигляді: необхідно визначити склад та структуру тривимірної моделі просторового об'єкта з урахуванням того, що вона має відображати всі просторові об'єкти, розташовані на території міського об'єкта на різних рівнях деталізації (LoD_{E1} , LoD_{E2} , LoD_{E3} , LoD_{E4}) і при цьому кількість високо деталізованих об'єктів рівнів LoD_{E2} , LoD_{E3} має давати достатнє уявлення про АС, але не перевантажувати модель як для візуального аналізу, так і для розрахункових завдань.

У зв'язку з цим, часткова оптимізація тривимірної моделі міського об'єкта може бути досягнута за рахунок зберігання об'єктів (будівель та споруд), що містять внутрішнє планування на рівні LoD_{E4} , як самостійних моделей. Оскільки внутрішнє планування будівель і споруд приховане під каркасом будівлі і не застосовується в розрахункових задачах моделювання АС на території міського об'єкта і не впливає на зовнішній вигляд території, тому доцільно об'єкти рівня LoD_{E4} візуалізувати тільки за потреби, окремо не навантажуючи саму модель. При цьому моделі рівня LoD_{E4} можуть зберігатися в обмінних форматах пакетів тривимірної графіки, відображати внутрішнє планування будівель та споруд, розташування засобів пожежогасіння, сигналізації та ін. Таким чином, частково завдання визначення складу та структури тривимірної моделі міського об'єкта зводиться до організації зв'язку

між вихідними об'єктами рівня $LoDE_2$ та множиною моделей будівель та споруд рівня $LoDE_4$.

Нехай B_{LoDE_2} – це множина будівель та споруд рівня деталізації $LoDE_2$, що зберігаються в базі даних (DB), яка може бути описана таким чином:

$$B_{LoDE_2} = \{b^j_{LoDE_2}\} = \{(x, y, z)_{LoDE_2}, \{A_{atr}\}\}_j, \quad j = \overline{1, n_{LoDE_2}} \quad (4.26)$$

де $\{b^j_{LoDE_2}\}$ – множина просторових об'єктів в моделі міської території, $(x, y, z)_{LoDE_2}$ – просторові координати, які описують розташування j - об'єкта на міській території, $\{A_{atr}\}$ – множина атрибутивної інформації j -об'єкта, n_{LoDE_2} – кількість просторових об'єктів в моделі міської території рівня деталізації $LoDE_2$.

Для множини B_{LoDE_4} просторових об'єктів рівня деталізації $LoDE_4$, які створені засобами сучасних пакетів тривимірної графіки для більш детальної візуалізації планувань будівель та споруд має виконуватися така умова:

$$B_{LoDE_4} = \{(b^j_{LoDE_4})\}, \quad b^j_{LoDE_4} \notin DB, \quad j = \overline{1, n_{LoDE_4}}, \quad (4.27)$$

де n_{LoDE_4} – це кількість об'єктів рівня $LoDE_4$ в моделі міської території.

Тоді для здійснення зв'язку $b^j_{LoDE_2}$ j -об'єкта тривимірної моделі міського об'єкта з об'єктом $b^j_{LoDE_4}$ необхідно задати функцію відображення R :

$$b^j_{LoDE_2} \leftrightarrow R(b^j_{LoDE_4}) \quad (4.28)$$

Зв'язок такого типу може бути організований за допомогою механізму прикріплень за умови виконання наступної умови (рис. 3):

$$b^j_{LoDE_2} \geq b^j_{LoDE_4} \quad (4.29)$$

Збільшення швидкості візуалізації та роботи розрахункового модуля може бути досягнуто за рахунок визначення складу ділянки моделі з високим рівнем деталізації у зв'язку з АС на території міського об'єкта. Множина управлінських рішень у разі виникнення АС на міському об'єкті є обмеженою через певні фактори. Альтернативні рішення залежать від операційного розуміння ситуації на основі вхідної інформації, що впливає на хід прийняття управлінського

рішення при розвитку АС. Тоді для тривимірної моделі міської території необхідно визначити для візуалізації мінімальну кількість деталізованих просторових об'єктів рівня $LoDE_2$, при цьому їх кількість повинна бути достатньою для операційного розуміння ситуації, на основі якого формується управлінське рішення по ліквідації АС.

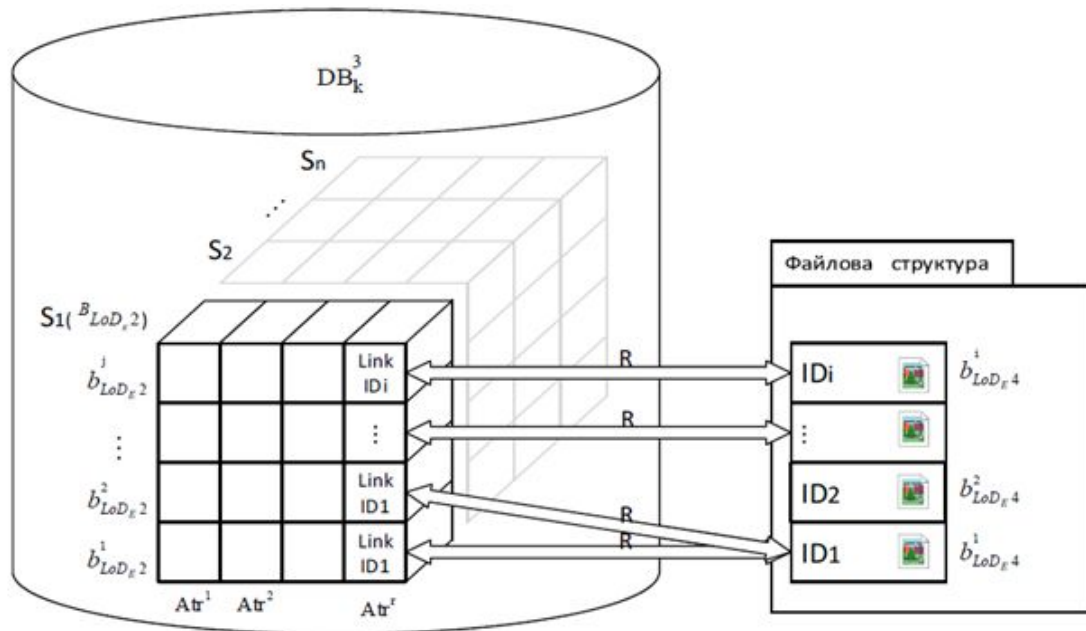


Рис. 4.14. Організація зв'язку в DB між об'єктами $b_{LoDE_2}^j$ та $b_{LoDE_4}^j$

Нехай множина $N_{AC} = \{x, y, z\}_{AC}$ описує місце виникнення АС в просторі тривимірної моделі, тоді область F_{AC} операційного розуміння АС можна описати як замкнуту параметричну множину:

$$\begin{aligned} F_{AC} &= \{N(x, y, z)\}_{AC} = 0, \text{ границя множини,} \\ N_j(x, y, z)_{AC} &< 0, \text{ внутрішня область множини.} \end{aligned} \quad (4.30)$$

Тоді завдання визначення структури моделі можна звести до візуалізації деталізованих просторових об'єктів рівня LoD_{E2} , які потрапили до F_{AC} та сформулювати у такий спосіб:

$$S = \{s^j_{LoDE2}\} = (U_{j=1, I} \{O_{ij}\}) \cap (U_{m=1, M} \{F^m_{AC}\}), \quad (4.31)$$

де S – це множина просторових об'єктів, які потрапили в область F_{AC} , O_{ij} – область відображення j -го об'єкта в i -му шарі рівня LoD_{E2} , M_{AC} – кількість областей операційного розуміння F_{AC} , якщо є декілька АС.

При цьому на об'єкти, що потрапляють в зону АС, накладається наступне обмеження:

$$d(O_{ij}, N_{AC}) \leq D(F_{AC}), \quad (4.32)$$

де $d(O_{ij}, N_{AC})$ – це відстань від об'єкта рівня деталізації LoD_{E2} до місця виникнення АС, $D(F_{AC})$ – це відстань від місця виникнення АС до границі множини операційного розуміння АС.

Якщо при цьому на міській території розміщуються стратегічно важливі об'єкти O_{CBO} , їх необхідно відображати рівнем LoD_{E3} незалежно від місця виникнення АС. Тоді обмеження (7), що накладається на область операційного розуміння АС, може бути розширено наступним чином:

$$d(O_{ij}, N_{AC}) \leq D(F_{AC}), O_{CBO} = const. \quad (4.33)$$

Таким чином, розроблення тривимірної моделі починається з функціонального та інформаційного моделювання, збору необхідної інформації та перетворення її до виду, що підтримується ОПС. Спочатку дані представлені у вигляді двовимірних карт, креслень, технологічних схем та планів, різної документації, фото- та відеоматеріалами обладнання, будівель та споруд. Для коректного відображення просторових даних у тривимірному просторі необхідно визначити розташування шару у просторі, для комунікацій задати умовне 3D позначення об'єктів, розробити тривимірні моделі будівель та споруд з урахуванням рівня деталізації.

На рис. 4.15 надана блок-схема запропонованого методу. Часткова оптимізація досягається за рахунок виключення з бази просторових даних тривимірної моделі міської території високо деталізованих об'єктів – будівель та споруд рівня деталізації LoD_{E4} , а також організації зв'язку між розробленими у графічних додатках моделями будівель та споруд та базою просторових даних. За рахунок генералізації об'єктів рівня деталізації LoD_{E3} та LoD_{E1} досягається оптимізація моделі з концентрацією на суттєвих деталях при АС, що тягне за собою підвищення рівня операційного розуміння АС.

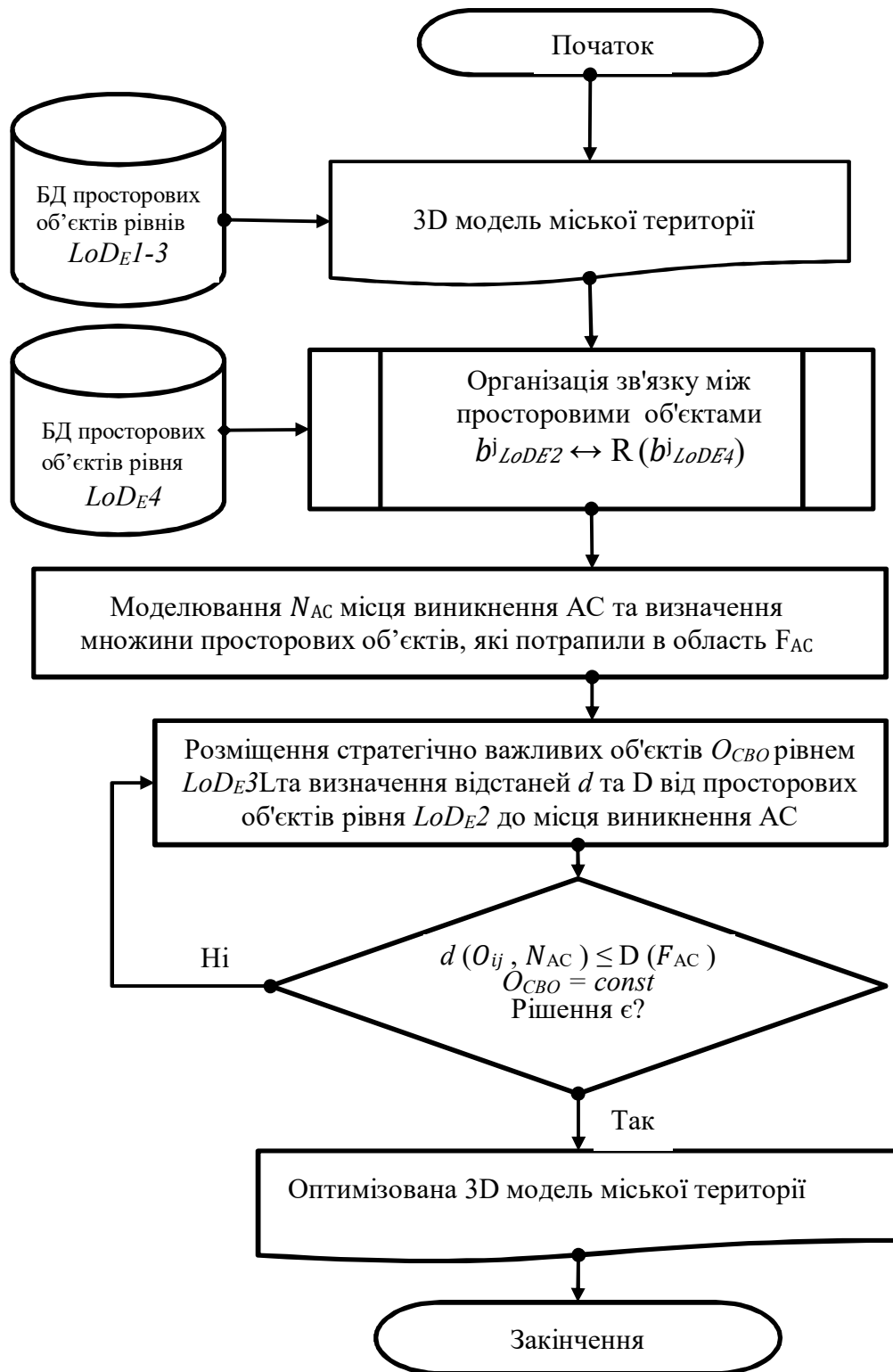


Рис. 4.15. Блок-схема методу визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території

Висновки до розділу 4

1. Запропонована структура багатовимірному простору для адаптованої моделі даних і введена багатовимірна матрична алгебра для обробки даних в цьому просторі. Визначено п'ять основних осей багатовимірному простору (сутності, атрибути, ідентифікатори, час і модифікатори) для розробки адаптованої автоматизованої системи. Ці операції використовуються для динамічного формування зв'язків реляційної моделі, що зберігається в багатовимірному просторі, в залежності від умов, що накладаються на координати точок. Потім, щоб отримати кінцевий результат запиту за отриманими відносинами, необхідно застосувати операції реляційної алгебри. Така адаптована модель представлення даних, заснована на багатовимірному просторі, може бути використана для створення гнучких динамічних автоматизованих інформаційних систем при вирішенні задач просторового планування.

2. Запропоновано метод для автоматизованої перевірки якості інформаційної моделі ОПП, який на відміну від існуючих методів враховує ключові параметри для формування інформаційного набору правил верифікації конкретної ІМ ООП: інформацію про регіон будівництва, тип об'єкта, етап ЖЦ, рівень деталізації і наявність правил користувача.

3. Запропоновано метод валідації інформаційних моделей ОПП методом багатоаспектної фасетної класифікації. В результаті застосування такого підходу було сформовано п'ять фасет, що містять набори характеристик для кожної моделі ОПП: предмет перевірки, тип інформації, етап життєвого циклу, діапазон застосування, джерело вимог. Особливістю запропонованого методу є його відкритість та адаптивність, що дозволяє додавати нові фасети та розширити параметри перевірок інформаційних моделей ОПП. Наявність інструменту валідації ВІМ-моделі на етапі будівництва для замовника є потужним інструментом управління, який дозволить вирішувати конфлікти і

знаходити рішення, що впливають на подальшу реалізацію проєкту будівництва і його успішне завершення. Моделювання будівельного проєкту протягом усього його життєвого циклу по ланцюжку PRE-BIM модель – D-BIM модель – C-BIM модель – E-BIM модель – RE-BIM модель формує інструмент опису складної динамічної ОПС просторового планування.

4. Запропоновано та розроблено метод визначення метод визначення рівнів деталізації цифрових інформаційних моделей ОПП у складі цифрової моделі міського простору, який дозволяє знизити часові витрати на розробку моделі за рахунок заздалегідь визначеного складу об'єктів з певним рівнем деталізації, а також на обробку та візуалізацію тривимірної моделі міського об'єкта. Даний метод можливо використовувати і для підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій на міських об'єктах, яке полягає у підвищенні рівня операційного розуміння ситуації, без відволікання на несуттєві деталі. Метод адаптує концепцію різнорівневої деталізації до списку просторових об'єктів міської території, де для кожного з них обираються діапазони рівнів деталізації, виходячи з потреб різних суб'єктів управління для прийнятті рішень щодо вирішення функціональних завдань ОПС.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [239, 242, 248, 259, 260, 263, 270, 279, 281–283, 298].

РОЗДІЛ 5. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ОБ'ЄКТНО-ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ

5.1. Узагальнена архітектура програмного комплексу для автоматизації об'єктно-просторових систем на основі концепції рефлексивної адаптації

Загальна схема розробки цифрової моделі об'єктно-просторової системи засобами інформаційних технологій представлена на рис.5.1.

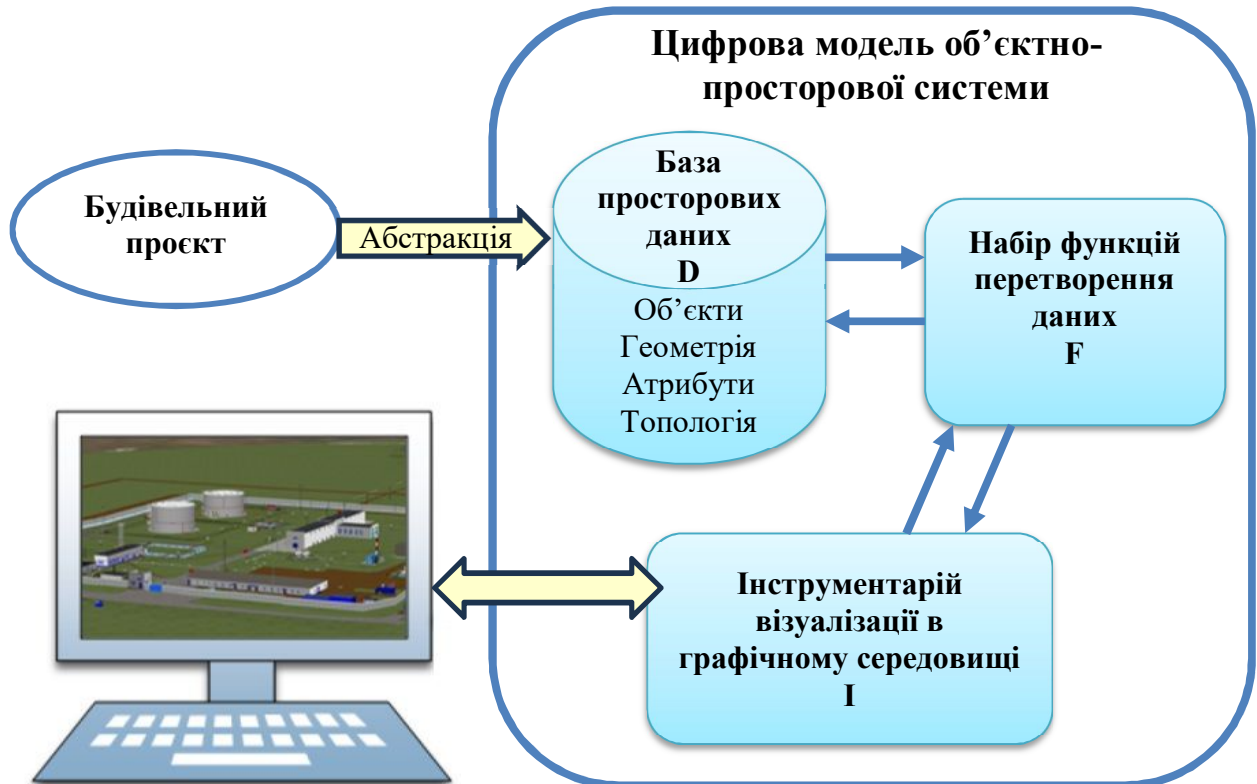


Рис. 5.1. Загальна схема розробки цифрової моделі об'єктно-просторової системи засобами інформаційних технологій

Автоматизація ОПС для забезпечення інформаційних потреб процесу просторового планування у проєктах будівництва залежить від якісного використання арсеналу програмно-апаратних комплексів та комп'ютерних технологій. Інтенсивність та динаміка інформаційних процесів накладають певні вимоги до програмного забезпечення (ПЗ). Є такі прикладні завдання просторового планування будівельного проєкту, для яких модернізація обслуговуючого ПЗ для внесення оновлень у математичні та інформаційні моделі, структури даних, алгоритми, вихідний код, інтерфейсні оболонки тощо пов'язана з великими труднощами або зовсім неможлива. Єдиним виходом у цьому випадку є адаптація програми в режимі реального часу, без зупинок на перепроєктування та перекомпіляцію. Такі програмні компоненти мають вміти самостійно відстежувати критичні зміни, адекватно пристосовуватися до них у фоновому режимі, не перестаючи виконувати свої основні корисні функції.

Адаптація прикладного ПЗ є однією з принципово важливих задач у сфері сучасної програмної інженерії, яка має як теоретичне значення, так і практичну цінність, і є особливо актуальною для вітчизняного ІТ-сектору, оскільки в найближчим часом очікується підвищений інтерес з боку урядових структур, бізнесу та науки до питань інтеграції будівельно-технологічних та програмно-кібернетичних процесів. Це пов'язано з пріоритетною програмою переходу країни до моделей цифрової економіки. За прогнозами експертів, найбільший розвиток до 2030 р. мають досягнути саме інформаційні системи, що працюють з великими масивами даних (Big Data).

Проблеми, пов'язані з питаннями адаптивної поведінки інформаційних систем, успішно вирішувалися в рамках теорії автоматичного управління (ТАУ), що підтверджується висновками досліджень в роботах [131, 150, 179, 180, 309-311]. Однак практичний досвід останніх років показав, що механізми зворотного зв'язку в програмному забезпеченні і досі погано формалізовані, а методи реалізації адаптивної поведінки, запропоновані класичною теорією

управління, не є актуальними для програмних систем через їх інформаційну природу.

Проблематика системної поведінки на основі зворотних зв'язків, включаючи питання адаптації, є традиційним предметом вивчення кібернетики. За понад півстоліття розвитку цієї науки накопичено багатий досвід концептуальних, математичних, інформаційних та технічних рішень подібних завдань. Термін "програмна інженерія" (software engineering) було введено відомими фахівцями у галузі програмної інженерії Peter Naur і Brian Randell на конференції [312]. Цей термін спочатку означав спробу застосувати методи класичної кібернетики і теорії управління до програмних систем з метою оптимізації тривалості життєвого циклу та скорочення витрат на розроблення складних програмних систем.

Останнім часом програмна кібернетика пройшла значні зміни і на сьогодні включає не лише спроби реалізації основних кібернетичних принципів щодо структури програмного забезпечення, а й доволі оригінальні концепції, пов'язані з питаннями розподілених та хмарних обчислень, створенням та експлуатацією кіберфізичних систем, зокрема, мережевих систем та Інтернету речей, процесів розроблення, тестування та супроводження програм. Проте, незважаючи на великий інтерес до цього напрямку, тема створення універсальних (іншими словами, застосовних до широкого класу прикладних програмних систем) механізмів адаптації та адаптації практично не досліджена. Наявні підходи, які були викладені, зокрема у роботах [313–314], не дають змоги вирішити весь клас проблем, пов'язаних з адаптацією. Системи, побудовані з їх використанням, не є достатньо гнучкими та надійними.

Сучасні прикладні програмні системи та інформаційні технології, які зараз застосовуються в будівельній галузі, опрацьовують великі обсяги складно структурованої та неструктурованої інформації, мають дуже складну архітектуру, повинні мати відповідну поведінкову складність і різноманітність

без порушення встановленої функціональної компактності.

Сучасні програмні системи перебувають у такому стані, що неможливо заздалегідь, на етапі проектування, врахувати всі можливі обставини функціонування. Багато речей стають очевидними лише в процесі експлуатації, що змушує розробників ПЗ виділяти більше ресурсів процесу супроводу системи, регулярно випускати оновлення, які не містять кардинально нової функціональності.

Розв'язанням проблеми недостатності знань може стати надання системам здатності до самостійного аналізу власного стану. У цьому випадку розробнику достатньо закласти в програму лише базові механізми аналізу та пошуку закономірностей, припускаючи, що деякі моменти на етапі розроблення залишилися неврахованими, а виявленням відсутніх знань система буде займатися самостійно протягом свого життєвого циклу. Такий підхід допоможе не тільки знизити витрати на супровід програмної системи, але й виявити ті особливості інформаційного забезпечення будівельного проєкту, які були невідомі навіть експертам.

Для вирішення зазначених проблем доцільно використовувати концепцію рефлексивної адаптації. Базові принципи та вимоги до її впровадження у сфері програмної інженерії зазначено в роботі [313] і наведено на рис. 5.2.

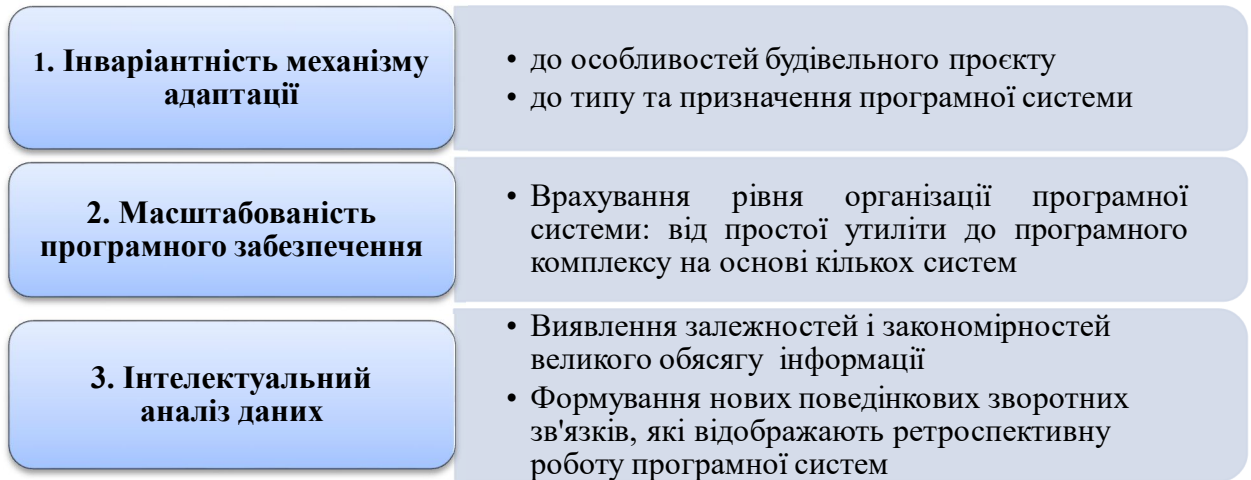


Рис. 5.2. Базові принципи концепції рефлексивної адаптації

Принцип масштабованості (рис.5.2) висуває певні вимоги до архітектурної організації програмної системи. Адаптивна архітектура повинна легко модифікуватися, і це стосується не тільки перебудови програми на основі результатів рефлексивного аналізу, а й модифікації програми ззовні (наприклад, самими розробниками) та подальшого врахування змін у процесі експлуатації. Отже, новий модуль, підключений до системи, має відразу ж долучатися до загального процесу рефлексії, під час якого буде виявлено його зв'язок з іншими модулями та їх взаємний вплив один на одного. Крім цього, певні закономірності мають бути виявлені у функціонуванні самого модуля.

Можна сформулювати кілька важливих принципів та визначень розробки програмних систем з рефлексивною адаптацією функціоналу:

- мінімальними компонентами програмної системи, які підлягають адаптації, є блоки адаптації. Кожен блок адаптації, що входить до складу системи, відповідає за можливу реалізацію якого-небудь атомарного компонента програми (функції, класу, моделі об'єкта предметної області тощо);
- сукупність логічно пов'язаних блоків адаптації, що належать до однієї предметної області і призначені для розв'язання однієї задачі, називається

рефлексивним компонентом;

- рефлексивна програмна система може складатися з одного або кількох рефлексивних компонентів (їх кількість буде визначати адаптивне різноманіття та рефлексивну складність програми);

- рефлексивні компоненти об'єднані в єдину систему за допомогою загального інтерфейсу і початково можуть не мати даних один про одного. Однак під час рефлексивного аналізу буде виявлятися ступінь та характер впливу одних компонентів на інші. Для цього необхідно передбачити канали інформаційного обміну даними між компонентами.

Рефлексивний компонент – це не обов'язково програмний модуль, у деяких випадках корисно мати компоненти, реалізовані у формі сервісів у рамках концепції сервіс-орієнтованої архітектури (англ. service-oriented architecture). До суттєвих переваг сервіс-орієнтованого рефлексивного компонента належить:

- низька зв'язність. Сервіси, що входять до складу системи, можуть бути реалізовані незалежно від інших її служб, а також можуть входити до складу інших систем. Єдине вимога – це знання відповідних протоколів взаємодії;

- принципова допустимість використання функцій одного сервісу сторонніми додатками і системами. Якщо виникне потреба в модифікації певної функціональності, то достатньо буде змінити її тільки в одному сервісі, а не в кожній системі, що його використовує;

- відкриті стандарти взаємодії, які значно зменшують час підключення нового сервісу до наявної системи.

Отже, підбиваючи підсумок, можна виокремити (рис. 5.3) три рівні рефлексії адаптивної програмної системи на основі визначених принципів узагальненої архітектури.

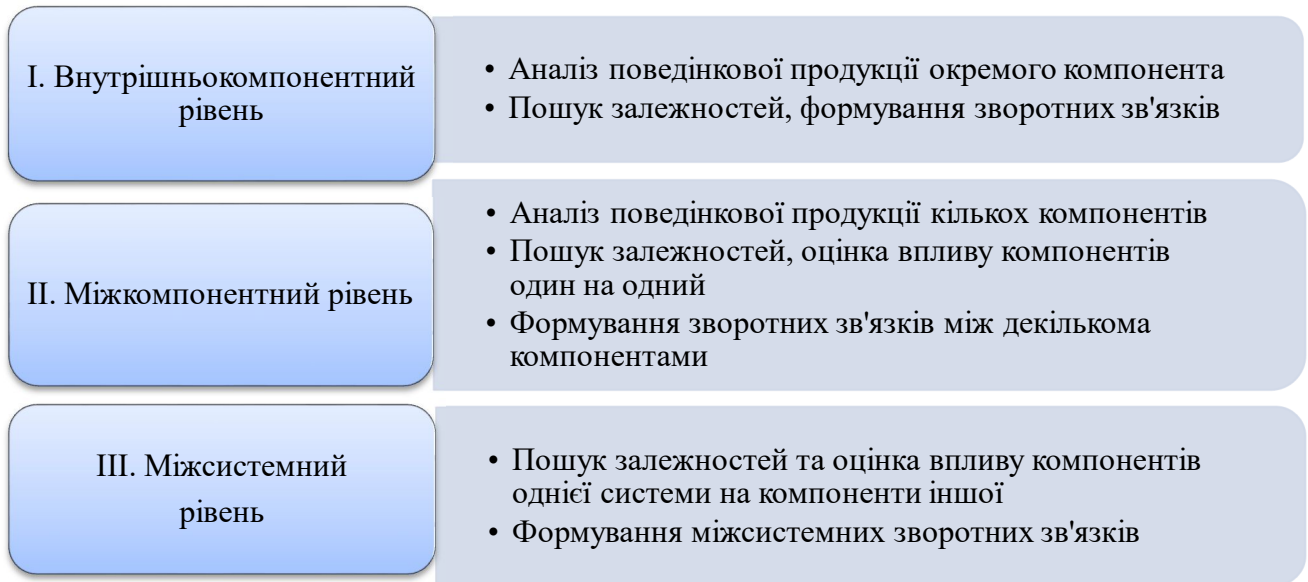


Рис. 5.3. Рівні рефлексії адаптивної програмної системи

Відомі вендори на ринку ІТ при розробці лінійки програмних продуктів застосовують Software Product Lines Engineering (SPLE) – концепцію повторного використання компонентів програмного забезпечення, яка допомагає розробляти сімейства (лінійки) продуктів зі скороченням часу виходу на ринок і підвищенням якості [315]. Центральним поняттям концепції SPLE є моделі варіативності (англ. variability model). Модель варіативності – це деякий формалізований опис множини можливих конфігурацій програмної системи, доповнений деякими обмеженнями і правилами, які стосуються питань сумісності окремих компонентів системи один з одним.

У SPLE використовуються такі типи моделей варіативності:

– *моделі характеристик* – моделі, які найчастіше використовуються на практиці. Вони графічно відображаються у вигляді модифікованого дерева І/АБО, відомого як діаграма характеристик (рис.5.4), та можуть мати різні формалізовані представлення;

– *ортогональні моделі змінності*. Схожі на моделі характеристик, вони також графічно відображаються у формі діаграм. Основна відмінність

полягає в тому, що ортогональні моделі показують лише наявність змінності у програмній системі, тоді як моделі характеристик надають більш конкретний опис як предметної області, так і точок змінності;

– *моделі рішень*. Модель рішень включає такі компоненти: питання з предметної області, на які потрібно отримати відповіді під час розроблення програмного продукту; множини можливих відповідей на питання; посилання на використовувані компоненти (активи) або інші рішення; опис наслідків прийняття рішення (відповіді на певне питання або вибір певного активу).

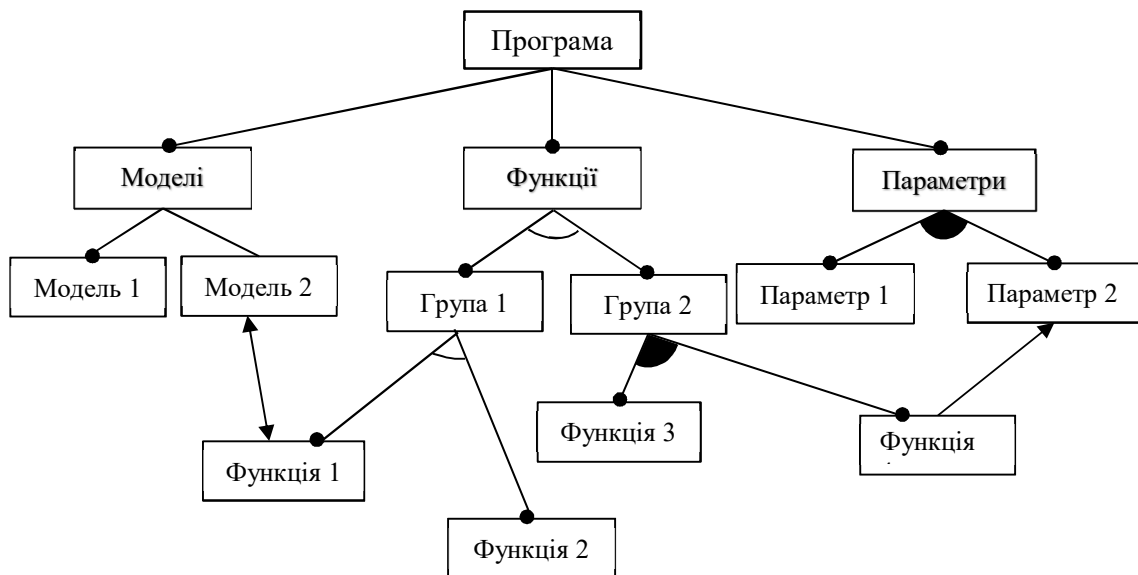


Рис. 5.4. Приклад моделі варіативності концепції SPLE

Узагальнена архітектура адаптивної програмної системи, заснована на моделях варіативності та рівнях рефлексії, представлена на рис. 5.4. Адаптивна програмна система охоплює три рівні рефлексивного зворотного зв'язку: рівень окремих компонентів, рівень груп компонентів та загальносистемний рівень. Кожен контур рефлексії забезпечується своєю моделлю варіативності, що відповідає за вибір поточних конфігурацій компонентного та системного рівнів. Загальна координація міжрівневої сукупності моделей варіативності та потоків

поведінкових даних здійснюється модулем аналізу поведінкової інформації. Цей модуль не завжди є підсистемою на системному рівні (рис. 5.4). Можливі і більш гнучкі архітектурні варіації, коли кожен окремий компонент має свою власну підсистему поведінкового аналізу.

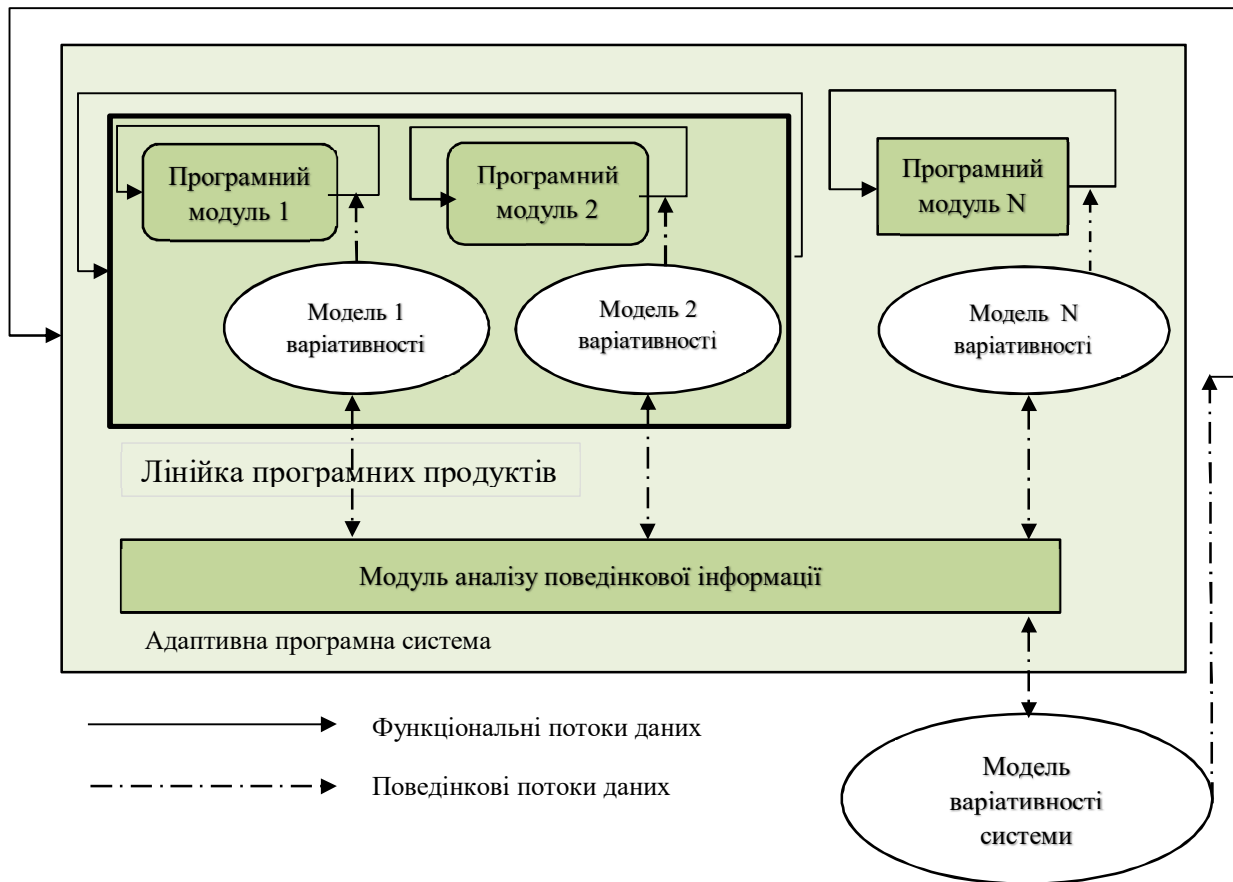


Рис.5.4. Загальна архітектура адаптивної програмної системи, заснована на моделях варіативності та рівнях рефлексії

Одним із перспективних підходів до реалізації механізму програмної рефлексії є інтеграція принципів DSPLE і технології Data Mining. Першим кроком до створення технології синтезу адаптивних систем має стати розробка математичної моделі варіативності, яка встановлює формальні правила структурних і функціональних змін для програмного забезпечення. Для цих цілей пропонується використовувати модель характеристик (feature model), яка має форму наочної діаграми для формалізації. У табл.5.1 представлені основні

типи відношень у моделях характеристик. Кожна з характеристик служить абстракцією певного програмного компонента. Відношення між характеристиками визначають потенційний набір конфігурацій системи в цілому. Крім того, за допомогою відношень буде задаватися ступінь сумісності різних компонентів у рамках однієї лінійки програмних продуктів.

Для формального опису модель характеристик *Model* задається у вигляді орієтованого прямого гіперграфа таким відношенням:

$$Model = (V, E, R, F), \quad (5.1)$$

де $V = \{V_1, V_2, \dots, V_i \dots, V_n\}$ – множина вершин графа, кожна з яких представляє характеристику діаграми; $E = \{E_1, E_2, \dots, E_i \dots, E_m\}$ – множина гіперребер графа, які описують відношення моделі характеристик); $R \in V$ – вершина, яка представляє кореневу характеристику діаграми; $F: E \rightarrow M, M \subset N \times N$ – функція значення потужності

$$mv = E_i(\min, \max) \in M, \quad (5.2)$$

де M – множина значень потужності вершин гіперграфа, кожному орієтованому гіперберу E_i . Значення потужності – це пара мінімального та максимального числа вершин основної множини гіперребра, які можуть бути включені до конфігурації діаграми характеристик, що відповідає гіперграфу.

За допомогою відношень виключаючого АБО та множинного АБО визначаються блоки варіативності – структурні одиниці програмної системи, які підлягають адаптивним процесам. Блок варіативності може використовуватись для визначення множини станів окремого компонента програмної системи, а також для правила вибору того чи іншого стану в кожному конкретному випадку. Згідно з принципом масштабованості блок варіативності може задавати стратегії адаптивної поведінки окремого компонента сервісу, всього сервісу, або навіть всієї системи в цілому.

Основні типи відношень у моделях характеристик програмної системи

№	Позначення	Найменування	Опис
1		Відношення обов'язкової дочірньої характеристики	Якщо батьківська характеристика включена в конфігурацію діаграми, то дочірня характеристика також повинна бути включена
2		Відношення опціональної дочірньої характеристики	Включення дочірньої характеристики в конфігурацію не є обов'язковим
3		Множинне АБО	Якщо батьківська характеристика включена в конфігурацію, то також має бути включене певне число дочірніх
4		Виключаюче АБО	Тільки одна з представлених дочірніх характеристик має бути наявною в кінцевій конфігурації
5		Відношення включення	Включення в конфігурацію характеристики А потребує включення характеристики В
6		Відношення виключення	Включення в конфігурацію характеристики А потребує виключення характеристики В

Пропонується блок варіативності формально описати такими характеристиками:

$$Block = (Model, Params, States, Rule), \quad (5.3)$$

де *Model* – формула (5.1) опису моделі характеристик блока варіативності; $Params = \{Param_1, Param_2, \dots, Param_i, \dots, Param_k\}$ – множина параметрів, що впливають на стан блока; $States = \{States_1, States_2, \dots, State_i, \dots, States_z\}$ – множина станів блока, де $State_i \subseteq F \forall i, \dots, z$; $Rule: Param_i \rightarrow States$ – правило, яке встановлює відповідність кожному елементу $Param_i$ деякий елемент множини *States*.

Множину параметрів впливу *Params* можна представити так:

$$BlockParams = ExtParams \cup InnerParams \cup TargetParams, \quad (5.4)$$

де $ExtParams = \{ExtParam_1, ExtParam_2, \dots, ExtParam_{k1}, \}$ – множина зовнішніх по відношенню до розглянутого блока параметрів;

$InnerParams = \{InnerParam_1, InnerParam_2, \dots, InnerParam_{k2}, \}$ – множина внутрішніх, змінних параметрів блока; $TargetParams = \{TargetParam_1, TargetParam_2, \dots, TargetParam_{k3}, \}$ – множина цільових параметрів.

Такий підхід дасть змогу прикладній програмній системі здійснювати модифікацію своєї структури на якісно новому рівні, що своєю чергою підвищить її надійність, стійкість до відмов, гнучкість, знизить вартість супроводу та продовжить термін експлуатації. Така система зможе розширювати клас розв'язуваних завдань просторового планування протягом усього життєвого циклу проекту будівництва, а також виконувати такі операції, які на сьогодні вважаються частиною обов'язків розробників ПЗ (наприклад, зможе виконувати функції самоадміністрування).

5.2. Структурні компоненти середовища загальних даних для об'єктно-просторових систем комплексної інформаційної підтримки

Узагальнюючи підходи, які використовувалися для формування інформаційної підтримки в ОПС в проектах будівництва, концептуальну модель зберігання просторових даних для вирішення завдань просторового планування територій можна представити у вигляді трьох основних блоків, які представлені на рис. 5.5.

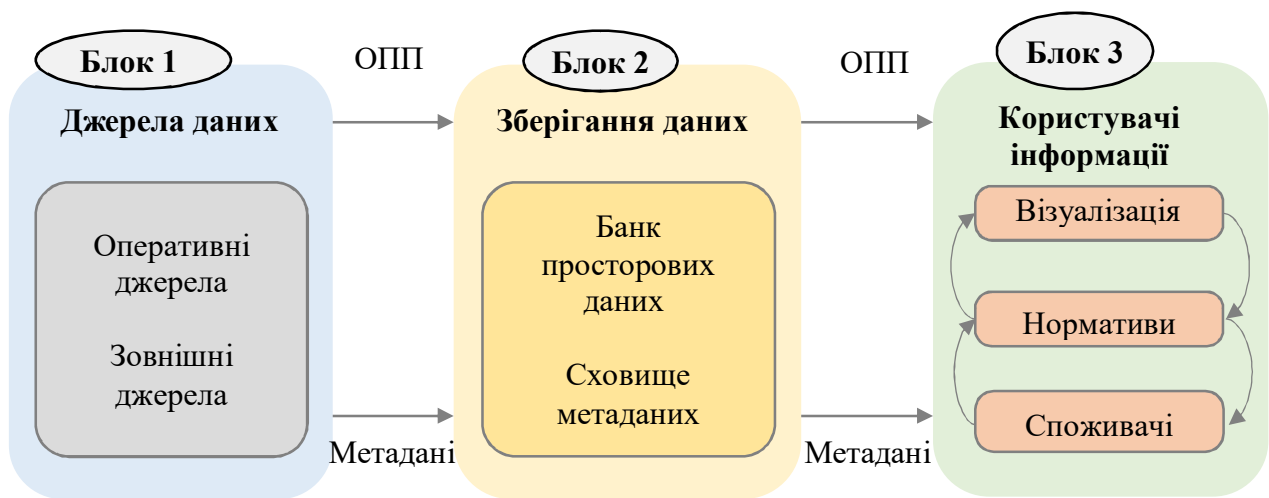


Рис.5.5. Концептуальна модель зберігання просторових даних

Блок 1 представляє джерела даних, які беруться з операційної системи та зовнішніх джерел. Блок 2 - це сховище зберігання даних, в яке оперативні та зовнішні джерела постачають просторові дані та метадані. Сховище даних складається з банків даних та сховища метаданих. Блок 3 – це користувачі інформації, які генерують запити даних до засобів представлення інформації, які, в свою чергу, генерують запит, що відправляється в сховище даних.

Основними компонентами сховища даних є:

- джерела оперативних даних;
- інструменти проектування / розробки;

- засоби передачі та перетворення даних;
- СУБД;
- засоби доступу та аналізу даних;
- засоби введення.

Для автоматизованих систем комплексного просторового планування територій важливо мати "зворотний зв'язок" зі сховищем даних, який дозволяє повідомляти користувача про появу необхідної інформації в сховищі і автоматично відправляти цю інформацію у вигляді, перетвореному в модель даних замовника.

На рис. 5.6 представлена модель інтеграції просторових і атрибутивних даних. Сховища даних характеризуються багатовимірним поданням інформації. Агреговані дані про об'єкт будуть являти собою інформаційний зріз для всіх шарів, що відносяться до об'єкта в певний момент часу. Таким чином, в системі організаційної підготовки до будівництва сховище даних для предметної області міського кадастру повинно відповідати наступним вимогам:

- сприймати і розпізнавати кадастрову інформацію за допомогою процедур вилучення, перетворення і завантаження даних в сховище;
- забезпечення довгострокового зберігання інформації та ведення історії її накопичення;
- створення та збереження схем відображення метаданих оригінальної операційної системи та метаданих сховища;
- надавати послуги з автоматичного оновлення даних сховища в операційній системі, перетворюючи інформацію відповідно до метаданих клієнта;
- захищають інформацію від несанкціонованого доступу; мають відкриту архітектуру, яка легко інтегрується і розширюється; забезпечують доступ до метаданих і даних з аналітичних інформаційних систем.

Основна відмінність обміну даними ВІМ-моделі на рис. 5.7 від традиційного сховища, визначається метою накопичення інформації: дані в базі даних повинні бути організовані оптимальним чином не для аналізу, а для консолідації інформації з різних автоматизованих систем.

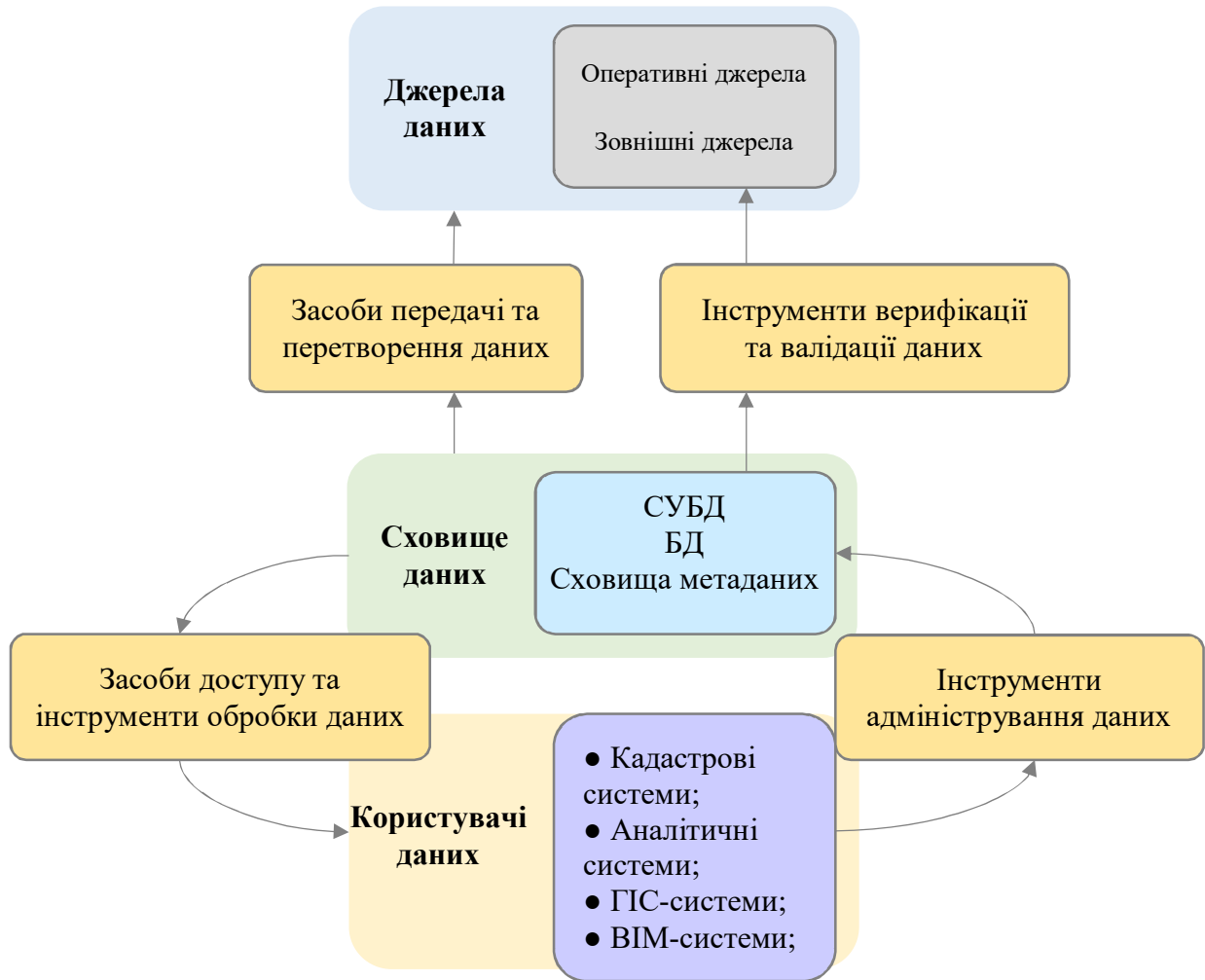


Рис. 5.6. ВІМ-модель інтеграції просторових та атрибутивних даних

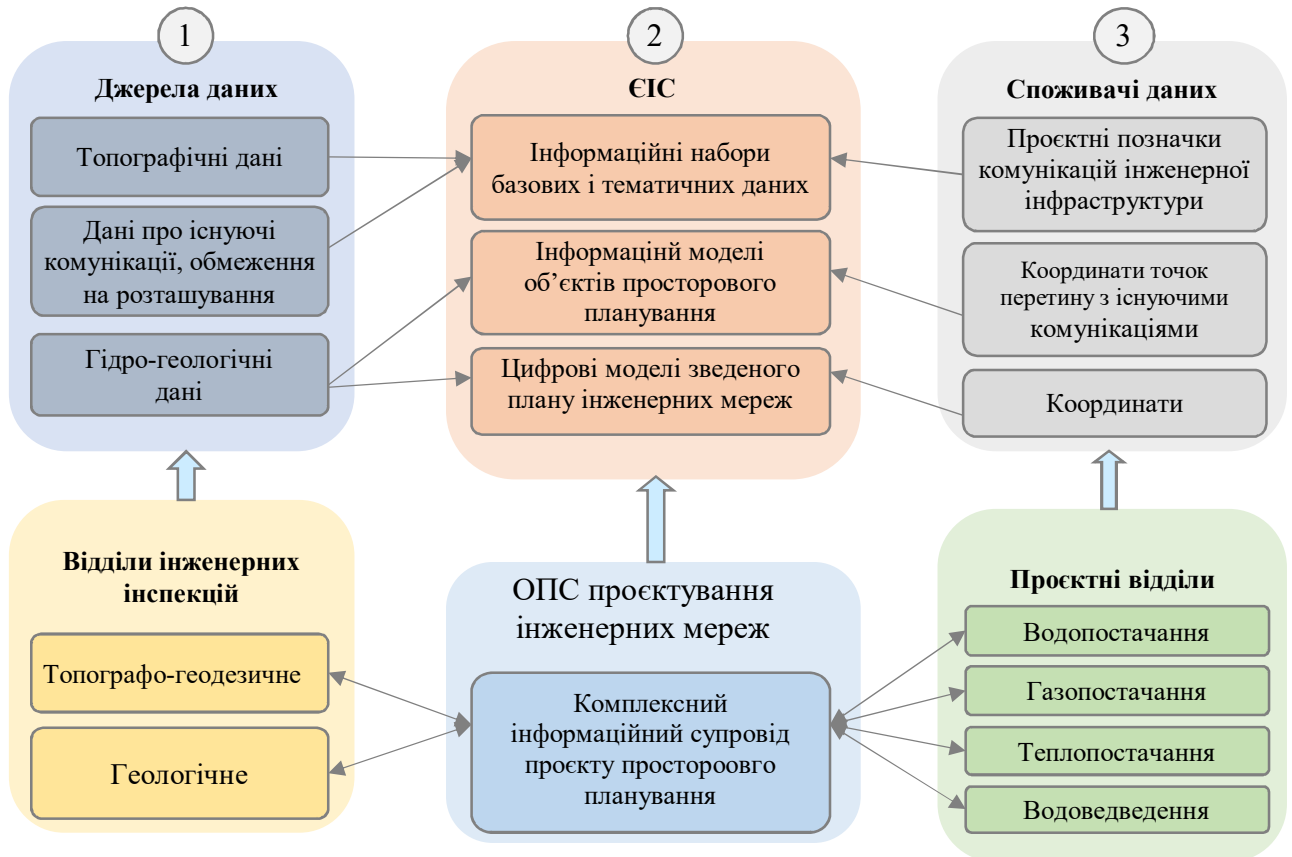


Рис.5.7. Середовище загальних даних для об'єктно-просторових систем системи комплексного проєктування інженерних мереж

Для ОПС вибору території для реалізації ІБП деякі фактори, такі як наявні будівлі і споруди прилеглих територій, форма та конфігурація меж земельної ділянки, можливість використання попереднього функціонального призначення території та інші, можна класифікувати як горизонтальні навантаження. Інші фактори (геодезичні, геологічні дані, обмеження гідрології тощо) впливають на вертикальне планування компонентів ОПП. На рис. 5.8 представлені фактори впливу на процес планування території під забудову.

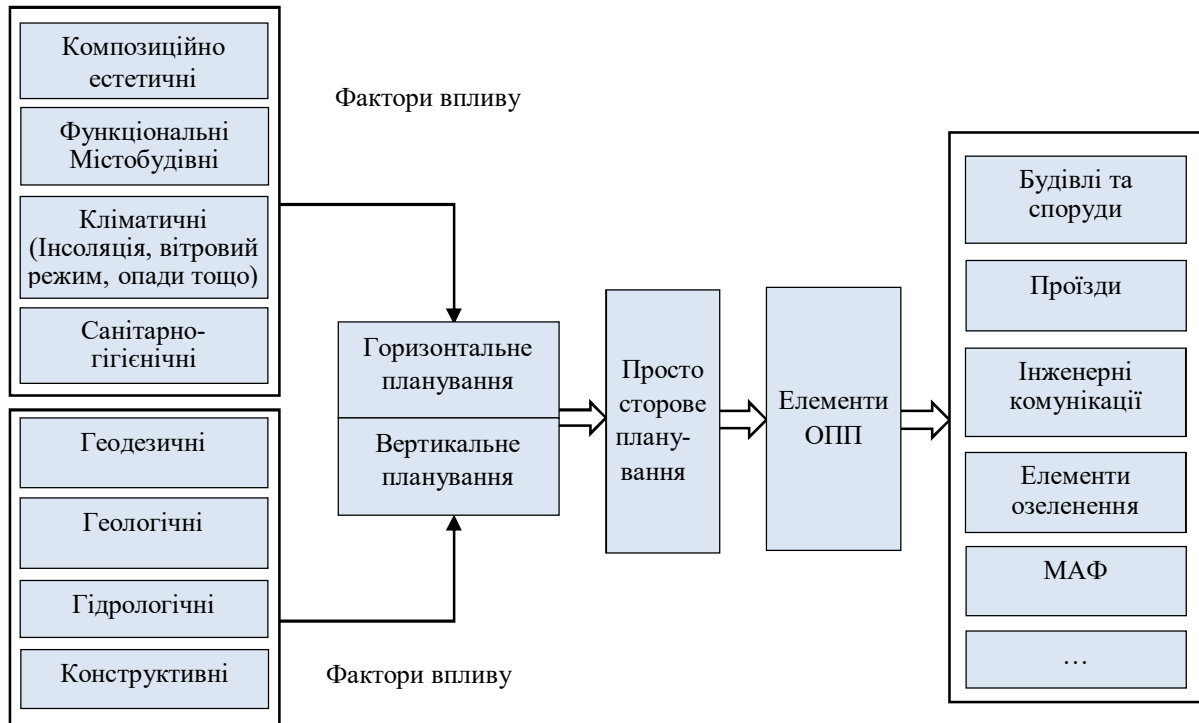


Рис.5.8. Фактори впливу на процес просторового планування

Доцільно структурні компоненти ОПС визначити та представити в стандарті IFC4 Add1 моделі BIM-технології, яка вже стала майже стандартом використання для будівельного проєкту. У IFC4 Add1 всі компоненти описуються сутністю "IfcBuildingElement", яка визначається двома сутностями суперкласу, а саме "IfcElement" та "IfcProduct". На рис. 5.9 показана ієрархія компонентів у моделі BIM, в якій квадратні прямокутники з глибоким кольором представляють основні компоненти, а позначення «ABS» використовується для уявлення абстрактного класу.

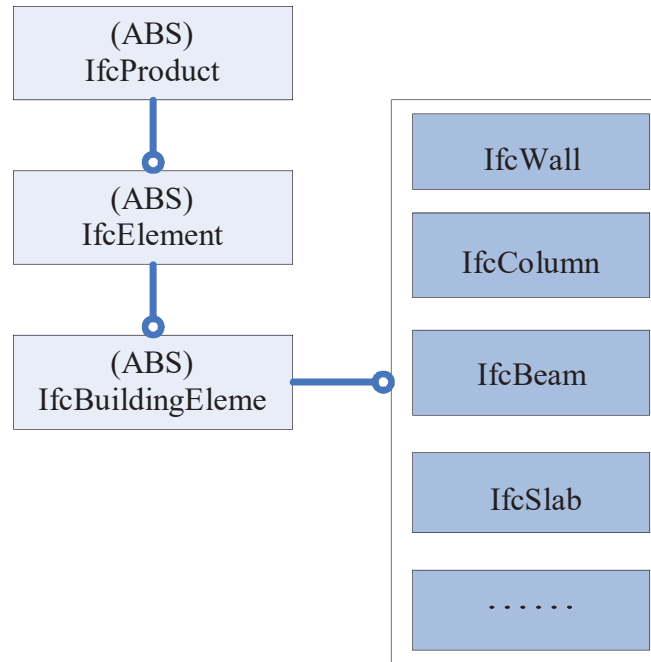


Рис.5.9. Ієрархія компонентів у BIM-моделі [316]

У моделі BIM, крім вищевказаної геометричної інформації про компоненти, також є важлива негеометрична (атрибутивна) інформація. У BIM-моделі сутність «IfcOwnerHistory» реєструє потрібний період часу будівництва компонентів. Сутність «IfcMaterial» реєструє виробників матеріалів, механічні властивості матеріалів і витрати на матеріали. «IfcPerson» і «IfcOrganization» записують певну особисту інформацію, включаючи проєктні компанії, будівельні компанії і компанії з нагляду. Сутність «IfcAlteration» записує інформацію про обслуговування та перетворення в процесі експлуатації території будівлі. Як правило, модель BIM записує інформацію про кожний компонент протягом його життєвого циклу від початкового будівництва до остаточного виведення з експлуатації. На рис. 5.10 надана структура атрибутивної інформації про компоненти моделі BIM.

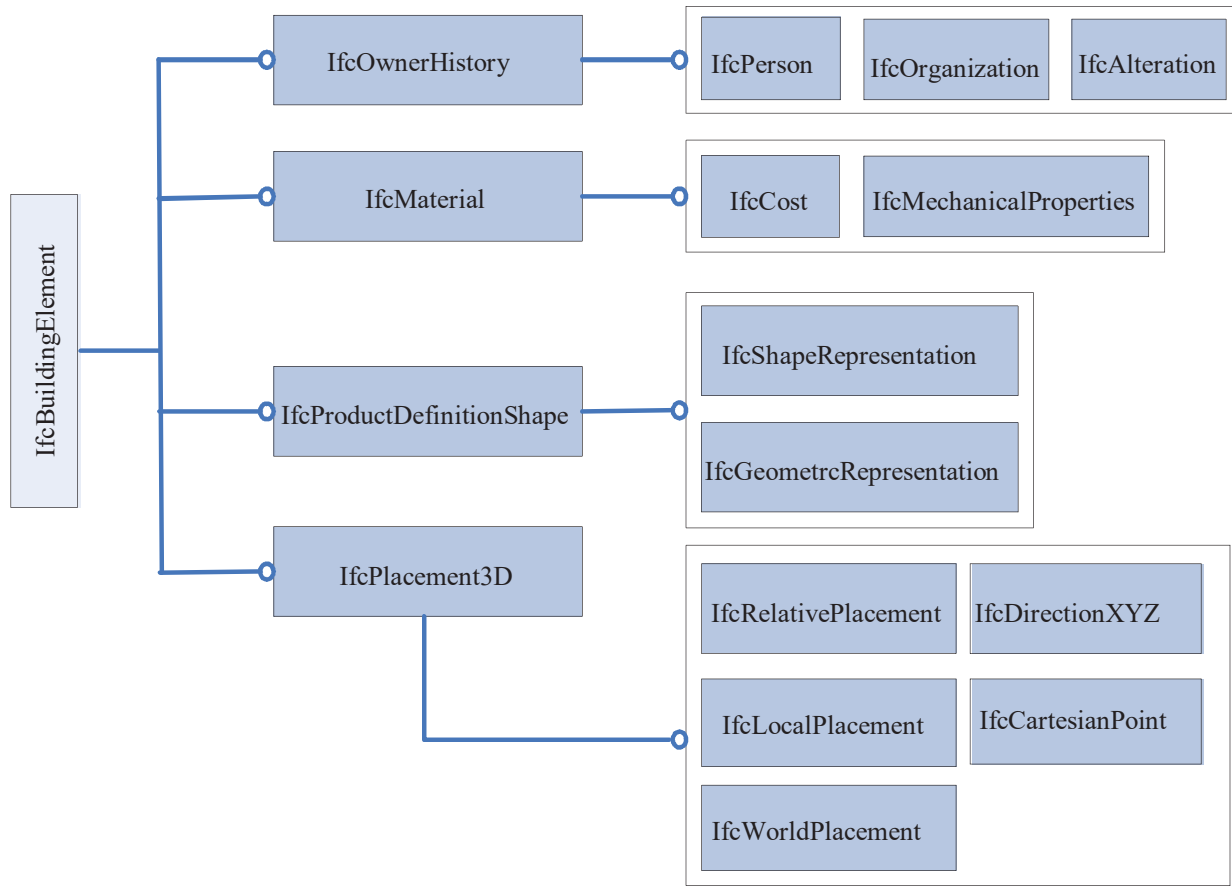


Рис. 5.10. Атрибутивна інформація про компоненти BIM моделі

Від етапу проектування до етапу експлуатації дані та інформація часто змінюються і безперервно накопичуються протягом усього життєвого циклу ОПП. Тому важливо розуміти сутність процесу інтеграції інформації в моделі BIM, щоб отримати інформацію про основні характеристики елементів ОПП на етапі експлуатації.

Метою середовища загальних даних є реалізація обміну та спільного використання інформації на різних етапах протягом всього життєвого циклу. Модель даних, що охоплює повну інформацію про ОПП, сприяє досягненню вищезгаданої мети. Через тривалість життєвого циклу з моменту проектування ОПП і надалі дані, отримані на різних етапах, часто мають бути тісно пов'язані.

У BIM-моделі відповідна інформація, вироблена на кожному етапі,

постійно накопичується протягом всього життєвого циклу і, нарешті, формує детальну модель даних. Наприклад, на етапі планування формується модель планування; на етапі проєктування формується розрахункова модель; на етапі будівництва формується будівельна модель. Так само на етапі експлуатації також формується операційна модель.

Велика кількість моделей даних, безумовно, суперечить досягненню уніфікованого обміну інформацією і спільного використання на різних етапах його життєвого циклу. Отже, створення єдиної моделі даних є оптимальним методом для реалізації інтеграції інформації. Однак єдина модель даних часто включає в себе загальну інформацію, що призводить до низької ефективності обміну і спільного використання інформації. Джерела даних та інформації дуже різноманітні через участь багатьох професійних учасників; формати даних програмних продуктів, прийнятих у різних організаціях, різні і вимоги до інформації різних учасників також різні. З точки зору наведених факторів пропонується розробити серію підмоделей, що належать до різних етапів життєвого циклу, на основі ВІМ моделі.

На рис. 5.11 представлено процес інтеграції інформації на різних етапах життєвого циклу ОПІ.

Цифрова модель ВІМ протягом усього життєвого циклу ОПІ має включати всі дані та інформацію про основні компоненти для запобігання структурних колізій у процесі експлуатації.

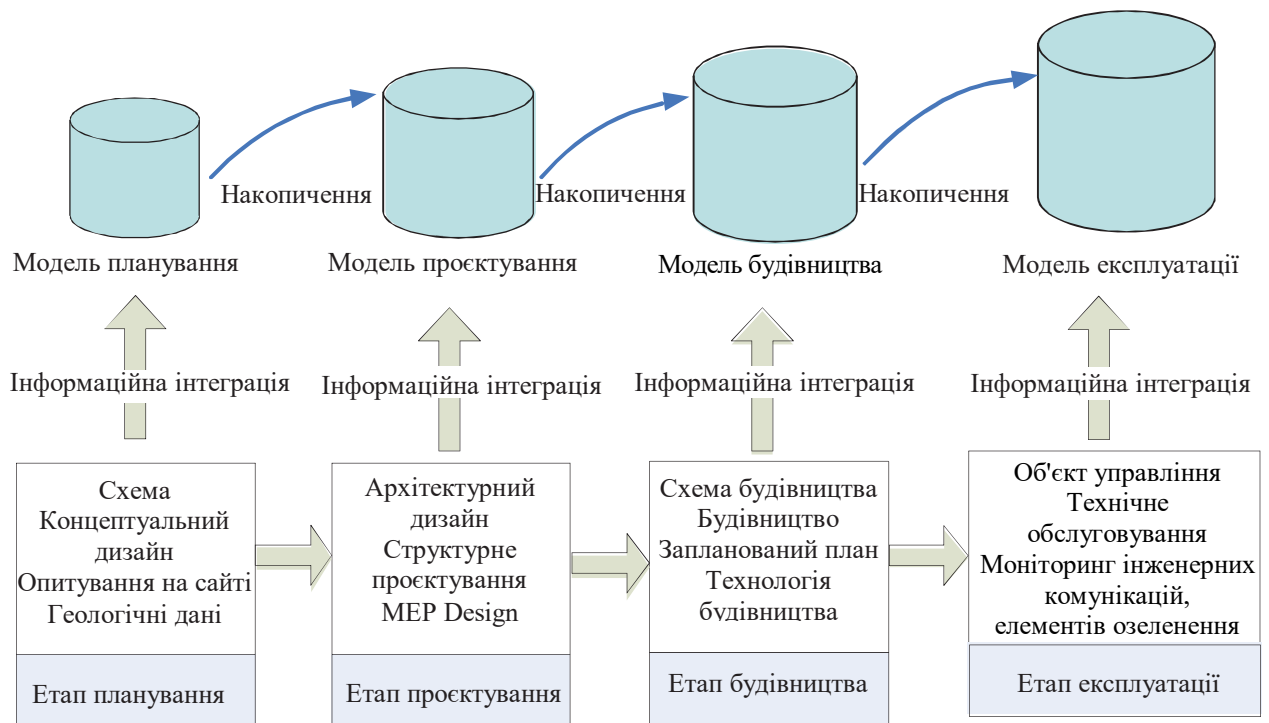


Рис. 5.11. Узагальнений процес інтеграції інформації

На рис. 5.12 представлена інтегрована модель життєвого циклу ОПІ на основі BIM. Склад BIM-моделей на кожному етапі життєвого циклу відрізняється кількістю та якістю інформації. Модель PRE-BIM створюється на етапі перед проєктом і містить дані про основні проєктні рішення та техніко-економічні показники. Модель D-BIM формується на стадії проєктування і містить дані у вигляді моделей відповідно до проєктної документації. Модель C-BIM формується на етапі будівництва на основі проєктної документації з урахуванням даних про акти виконаних робіт, виконавчих документів, архіву нагляду, журналу технічного нагляду підрядника та замовника. Модель E-BIM формується на етапі управління об'єктом та експлуатації на основі моделі C-BIM і доповнюється інформацією про експлуатаційні витрати енергоносіїв, даними систем автоматизації моніторингу та обліку показників ефективності роботи системи.

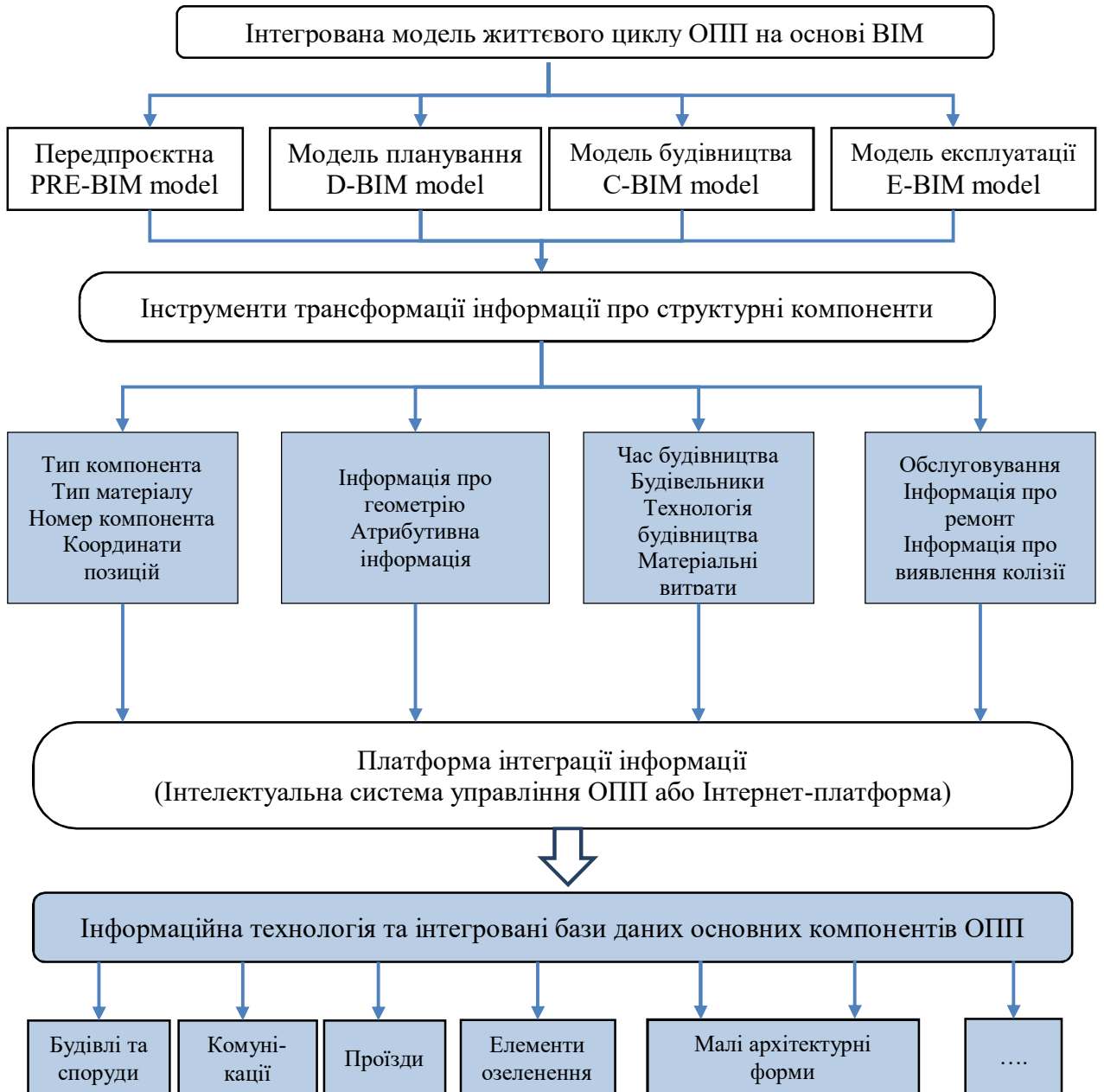


Рис. 5.12. Інтегрована модель життєвого циклу ОПП на основі BIM

Перехід з одного етапу на інший може супроводжуватися втратою деяких даних або неправильним використанням доступної інформації. Крім того, при роботі в моделях кожного наступного етапу можуть з'являтися відхилення від параметрів попередньої моделі. Застосування систем моніторингу та управління

в BIM-моделях на кожному етапі життєвого циклу території будівлі підвищить ефективність облаштування земельної ділянки і допоможе виявити відхилення від встановлених параметрів, тим самим дозволяючи вчасно вживати коригуючих заходів.

Заснована на моделі BIM, структура БД основних компонентів для запобігання структурних колізій представлена на рис. 5.13. В ній на нижньому рівні розташовані цифрові моделі елементів ОПП, що є основою компонентів життєвого циклу. Дані та інформація про основні компоненти, необхідні для запобігання структурних колізій, витягуються з чотирьох підмоделей через платформу інтеграції інформації. Потім витягнута інформація інтегрується інтелектуальною системою управління ОПП та Інтернет-платформою для формування базової інтегрованої бази даних. Інтеграційна база даних використовується для запобігання структурних колізій протягом життєвого циклу ОПП з урахуванням факторів зовнішнього середовища.

У запропонованій структурі застосування BIM на етапі експлуатації території будівлі модуль платформи інтеграції інформації відіграє ключову роль у досягненні перетворення пов'язаних даних. У моделі BIM основні компоненти визначаються сутністю «IfcBuildingElement», в якій представлена важлива інформація про геометричні параметри і розміри. Більш того, деяка негеометрична інформація також визначається детально, включаючи системи координат положення, час будівництва, характеристики матеріалів, виконавців тощо. На основі інтеграції інформації моделі BIM пропонується структура бази даних основних компонентів для запобігання структурних колізій під час експлуатації території будівлі.

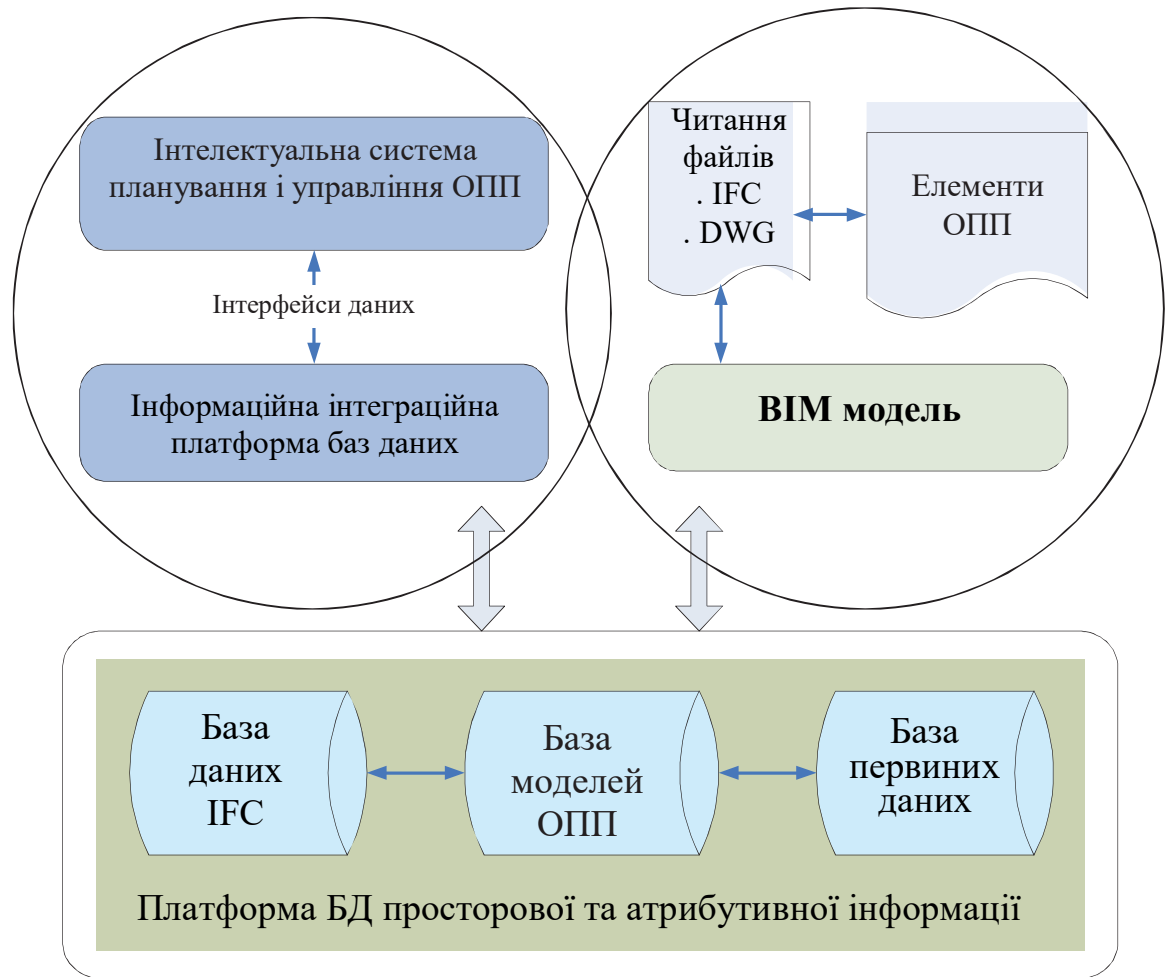


Рис.5.13. Процес інтеграції даних

5.3. Архітектура сховищ даних для інтеграції об'єктно-просторових систем на основі OLAP технології

Апробація методологічних засад з аналітичної обробки складових інформаційної системи у форматі інтегрованої моделі життєвого циклу території забудови знаходить своє практичне застосування при розробці єдиного WEB-порталу, який вимагає високої продуктивності при обробці великих обсягів просторової та атрибутивної інформації та який є сукупністю пов'язаних в єдине ціле баз даних, каналів передачі інформації, з'єднаних в єдину систему

даних, сховищ інформації, а також інформаційних технологій, що підтримують обробку, аналіз і передачу просторової інформації на різних рівнях інтеграції.

Практично всі ОПС в тій чи іншій мірі пов'язані з функціями довготривалого зберігання і обробки інформації. База даних (БД) - це сукупність структурованих і взаємозалежних даних і методів, що забезпечують додавання, вибірку і відображення даних, і яка є моделлю деякої предметної області, що складається з пов'язаних між собою даних про об'єкти, їх властивості та характеристики. Системи, що надають засоби роботи з БД, називаються СУБД. Такі системи самостійно не вирішують безпосередньо ніяких прикладних задач, але є дієвим інструментом для розробки прикладних програм, що використовують БД. Сховища даних (СД) будуються на основі багатовимірної моделі даних (БМД), які виділяють окремі вимірювання і факти, які аналізуються за обраними вимірами. БМД фізично може бути реалізована як в багатовимірній СУБД, так і в реляційній СУБД. В останньому випадку вона виконується за схемою «зірка» або «сніжинка». Дані схеми передбачають виділення таблиць фактів і таблиць вимірювань. Кожна таблиця фактів містить детальні дані і зовнішні ключі на таблиці вимірювань. Щоб зберігати дані згідно моделі ІС, структура БД повинна максимально відповідати цій моделі. Для реалізації сховищ даних (СД) використовують сучасні СУБД і концепцію СД. Концептуально модель СД можна представити у вигляді схеми, наведеної на рис. 5.14.



Рис. 5. 14. Концептуальна модель сховища даних

Сховища можна розглядати як набір моментальної фіксації стану просторових даних: можна відновити картинку на будь-який момент часу, оскільки атрибут часу завжди явно присутній в структурах СД.

Потрапивши одного разу в сховище, дані вже ніколи не змінюються, а тільки поповнюються новими даними з оперативних систем, де дані постійно змінюються. Використання технології сховищ даних передбачає наявність в системі таких компонентів:

- оперативних джерел даних;
- засоби перенесення і трансформації даних;
- метаданих - включають каталог сховища і правила перетворення даних при завантаженні їх з оперативних баз даних;
- реляційного сховища;
- OLAP-сховища;
- засоби доступу і аналізу даних.

Архітектура СД може бути представлена схемою наведеної на рис. 5.15.



Рис. 5.15. Архітектура сховища даних

Для роботи з сховищем даних використовуються СУБД, до яких пред'являються спеціальні вимоги, які включають в себе підтримку інтегрованого багатовимірного аналізу. Сховища даних не вимірюються, а доповнюють традиційні реляційні бази даних з первинною інформацією. Там, де необхідно не тільки отримати інформацію, оперуючи неточними або нечіткими поняттями, а певним чином розташувати її по спадаючій ступеня відповідності запиту.

В основі концепції OLAP лежить принцип багатовимірного представлення даних. OLAP – це спосіб представлення даних в простій і зрозумілій для кінцевого користувача формі. Призначення систем класу OLAP – надати користувачам гнучкий, інтуїтивно зрозумілий і простий доступ до даних. Дані представляються у вигляді багатовимірного куба, причому користувач може швидко згорнути або розгорнути дані з будь-якого виміру. Для побудови систем OLAP використовуються спеціалізовані багатовимірні бази даних, або надбудови над звичайними реляційними базами даних.

OLAP-сервери, або сервери багатовимірних БД, можуть зберігати свої багатовимірні дані по-різному, оскільки поряд з детальними даними, вилучаються дані з оперативних систем, зберігаються і агреговані показники, з єдиною метою - прискорити опрацювання користувацьких запитів (рис.5.16).

Для вирішення проблеми зберігання агрегатів застосовуються складні схеми, що дають змогу при обчисленні не для всіх можливих агрегатів досягати значного підвищення продуктивності виконання запитів. Багатовимірне зберігання дозволяє звертатися з даними як з багатовимірним масивом, завдяки чому забезпечуються однаково швидкі обчислення сумарних показників і різні багатовимірні перетворення за допомогою одного з вимірів. ІС просторового планування складається з ОПП, які розрізняються рівнем складності та відповідними рівнями топологічних зв'язків.

Складність характеризується просторовими схемою ОПС та внутрішньою інформацією, яка визначається кількості об'єктів і встановлених між ними зв'язків різних рівнів. Розділивши систему на інформаційні об'єкти (функціональні модулі) і описавши всі інтерфейси їхньої взаємодії, можна декларувати відносну повноту відносин між елементами системи, які визначають її поведінку і є предметом аналізу функціональної стабільності.

Формальна модель інформаційної системи адекватно відображає фізичну систему, іншими словами, є інформативною, якщо розбіжність між її реакцією на входні дії і відповідними подіями фізичної системи знаходяться в допустимих межах. Можна говорити, що формальна модель інформаційної системи представлена сукупністю баз даних. Оскільки будь-яка таблиця бази даних має фіксований набір атрибутів, то і формальна модель також визначається кінцевим набором атрибутів.

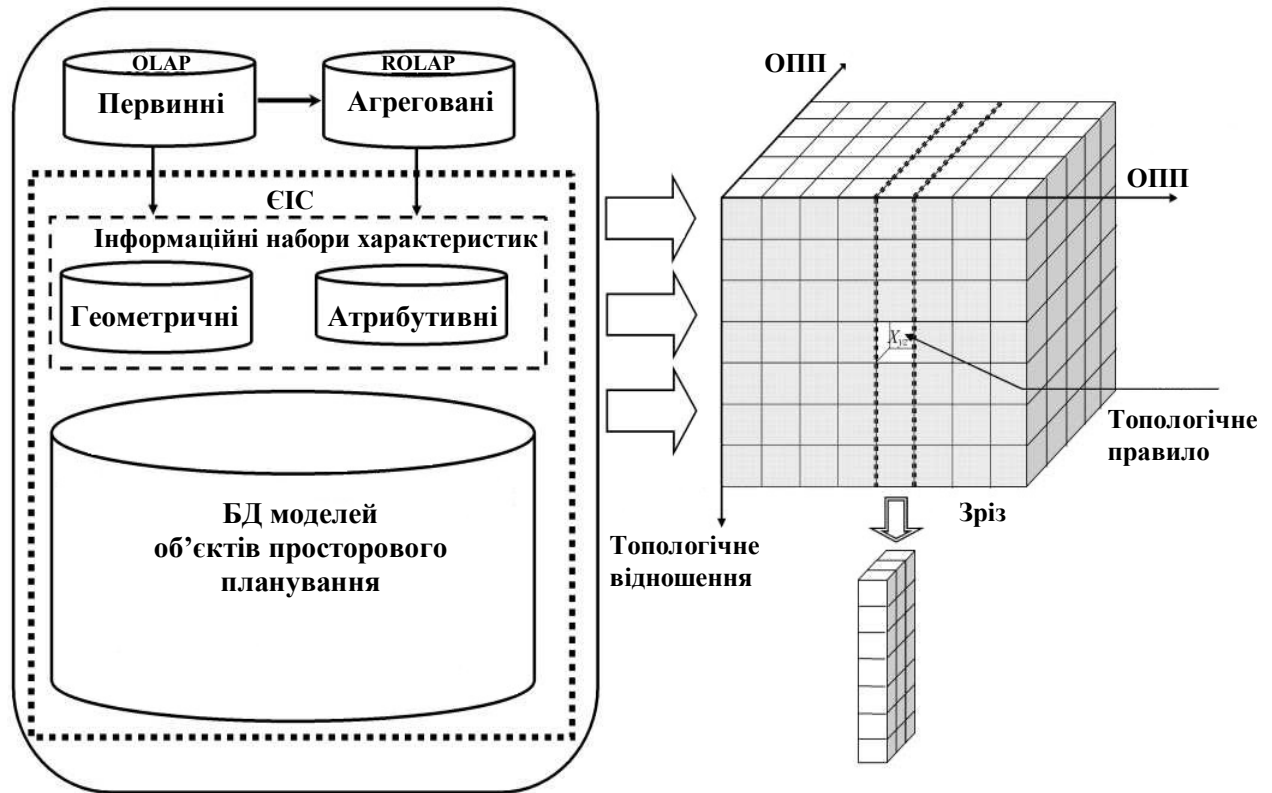


Рис. 5.16. Застосування OLAP-технології для автоматизації топологічних зв'язків

При використанні ІТ для вирішення завдань ОПС просторового планування використовуються дані з різних ІС (держателів даних) та з інших ОПС. Аналогічно, одні і ті ж просторові об'єкти для різних ОПС можуть описуватися різними тематичними наборами інформації і, відповідно, мати різну структуру даних. Одна з проблем полягає у визначенні того, як інтегрувати інформацію з різних ІС в рамках єдиного WEB-порталу.

Основною операцією для більшості користувачів є операція пошуку та отримання інформації. Використання динамічних баз даних для таких операцій є неефективним способом доступу до інформації, і в світовій практиці сьогодні для вирішення подібних завдань здійснюється перехід на інформаційні сховища або середовища загальних даних (СЗД).

Формалізуємо обробку запита користувача з WEB-порталу, до якого підключено декілька ІС .

Нехай D_j — набір документів, M_j — набір запитів:

$$d_k: M_j \rightarrow 2^{D_j} \quad (5.5)$$

де d_k — це відображення, яке пов'язує набір документів з кожним запитом.

Окрема ІС WEB-порталу може бути представлена кортежем:

$$S_j = (D_j, M_j, d_j), \quad j = 1, \dots, m \quad (5.6)$$

де S_j – окрема j -ІС, m – кількість ІС, які підключені до WEB –порталу.

Тоді інформаційна система WEB-порталу може бути представлена у вигляді розподіленої інформаційної системи, заснованої на глобальному тезаурусі T і визначена кортежем:

$$S = (T, D, M, d) \quad (5.7)$$

де $D = \cup_j D_j$ та $d = \cup_j d_j$ — локальні компоненти.

Будь-яку БД можна розглядати як архів інформації про ОПП, призначений для зберігання атрибутів:

- 1) пасивні просторові об'єкти, які не мають моделей станів,
- 2) активні просторові об'єкти, підпорядковані життєвому циклу.

На рис. 5.17 наведено процес інтеграції двох OLTP-систем на основі технології OLAP. Результатом такої інтеграції є новий OLAP-куб, заснований на інтеграції двох ІС: перша описує модель існуючої території для розв'язання задач просторового планування, друга – моделює прилеглі території.

В таких системах наявна різноманітність зміни атрибутів. Наприклад, в процесі реконструкції ідентифікуючі дані підземної інженерної мережі на території є незмінними, а ряд специфічних атрибутів, таких глибина закладання, координати, діаметр труби тощо є динамічними і модифікуються. При

завершенні реконструкції території такі дані стають постійними і не можуть бути змінені.

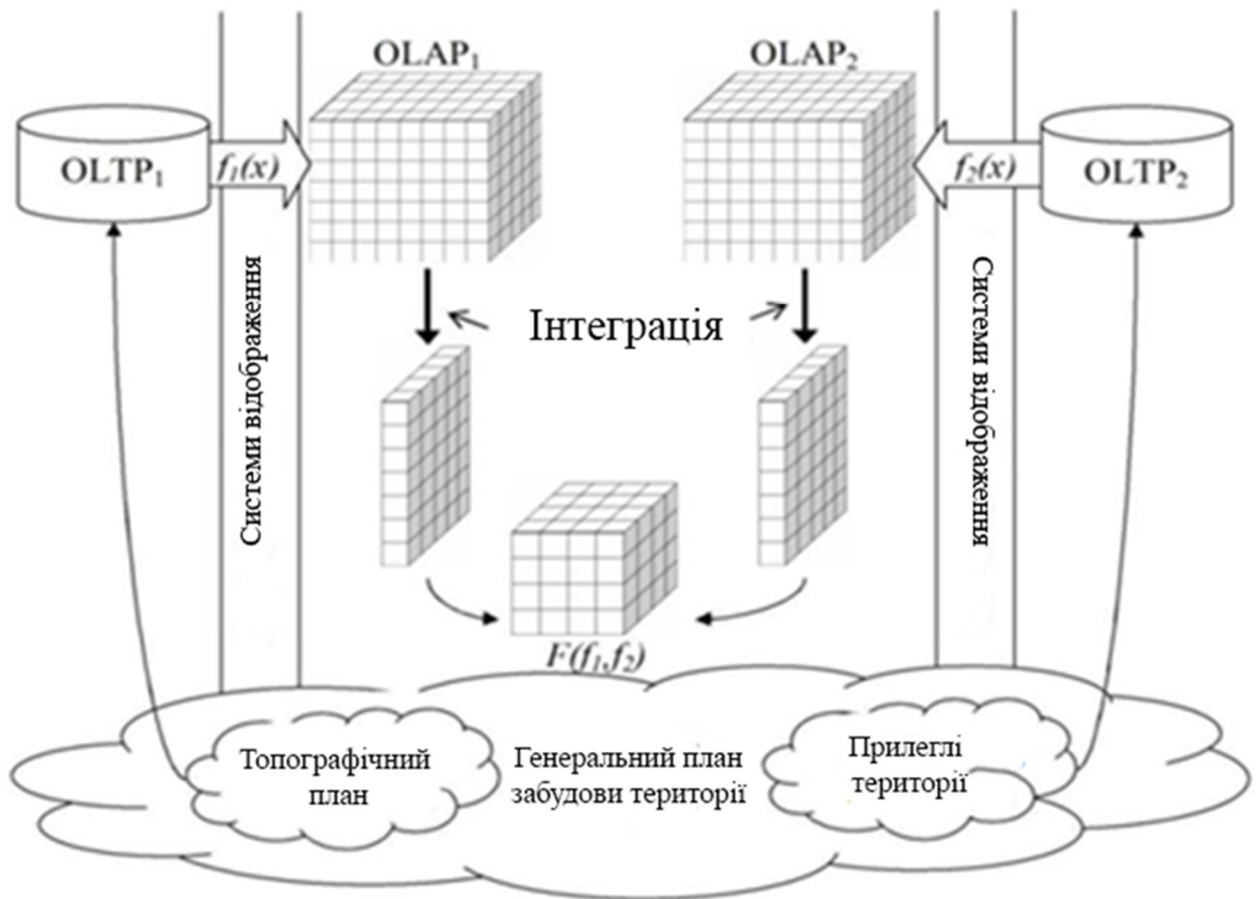


Рис. 5.17. Схема інтеграції двох OLTP-систем просторового планування території на основі технології OLAP

Таким чином, доцільно поділити всю розглянуту інформацію на різні рівні, як з точки зору життєвого циклу, так і рівнів доступу. Розроблення БД полягає в додаванні і видаленні кортежів, відповідних екземплярів об'єктів. В цьому випадку, БД даних автоматично переходить в категорію сховищ інформації, якщо частота видалення кортежів зі СД порівнянна з часом його існування, а OLAP-куб доповнюється новим вимірюванням – фрагментованим

виміром часу, що дозволяє перенести інформацію з БД в СД, відповідно до змінених значень атрибутів.

Якщо інформація в динамічних базах даних після модифікації не представляє інтересу ні для жодного користувача, то організація сховища інформації на основі таких баз даних не має сенсу. Самі OLAP-куби, що відповідають OLTP-системам, можуть бути представлені як багатовимірні інформаційні системи з відповідними властивостями. Оскільки кожна OLTP-система, будучи реалізацією моделі ІС, представляється як багатовимірна матриця (OLAP-куб), для цього відображення існують функції.

Розглядаючи на етапі планування проєкту будівництва окрему задачу інтеграції розробленого детального плану території з генеральним планом розвитку міста, можемо зробити висновок про необхідність встановлення нового зв'язку між функціями відображення, і як наслідок, побудувати новий OLAP-куб на основі цього зв'язку. Слід зазначити, що ефективність WEB-порталу може бути значно підвищена, якщо при моделюванні більш точно враховувати особливості рівнів деталізації обох ІС.

Для проведення експерименту, виконані типові пошукові запити в залежності від різної кількості просторових об'єктів, використовуючи три різні ІТ - CAD-технологія, ВІМ-технологія і OLAP-технологія. На рис.5.18 показана діаграма експериментальних результатів використання трьох різних ІТ. Куби OLAP зберігаються в оперативній пам'яті, що прискорює пошук інформації.

Об'єктно-орієнтований підхід використовується для створення бази даних в ОПС на основі ВІМ-технології для зберігання моделей ОПП у векторній формі. Цей підхід надає топологічну інформацію про об'єкт, але не враховує топологічні взаємозв'язки між ОПП В ОПС. База даних в системі OLTP являє собою OLAP-куб, заснований на організації матричного зберігання топологічної інформації.

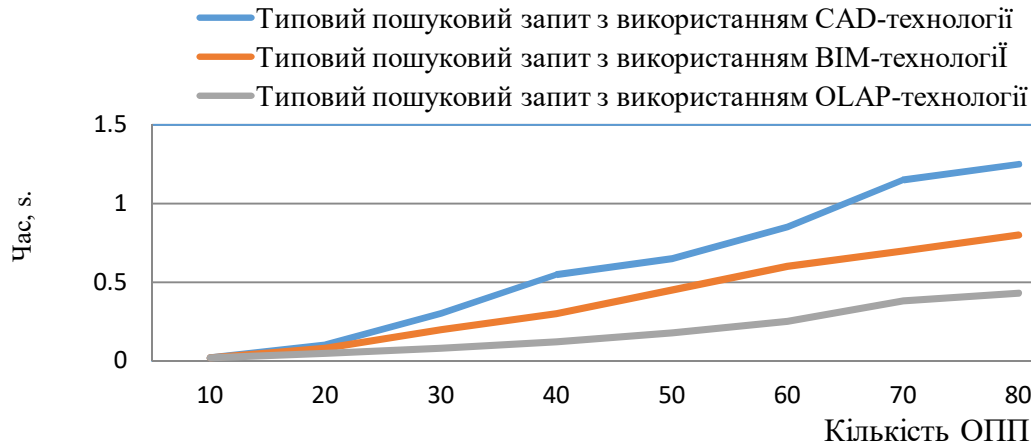


Рис. 5.18. Діаграма результатів типових запитів з використанням CAD, BIM та OLAP технологій

Запропоноване аналітичне моделювання території забудови, на основі OLAP-технології, враховує різні типи топологічних взаємозв'язків між ОПП. На рис. 5.19 надана діаграма результатів доступу до баз даних в CAD-системі і OLTP-системі для різної кількості просторових об'єктів.

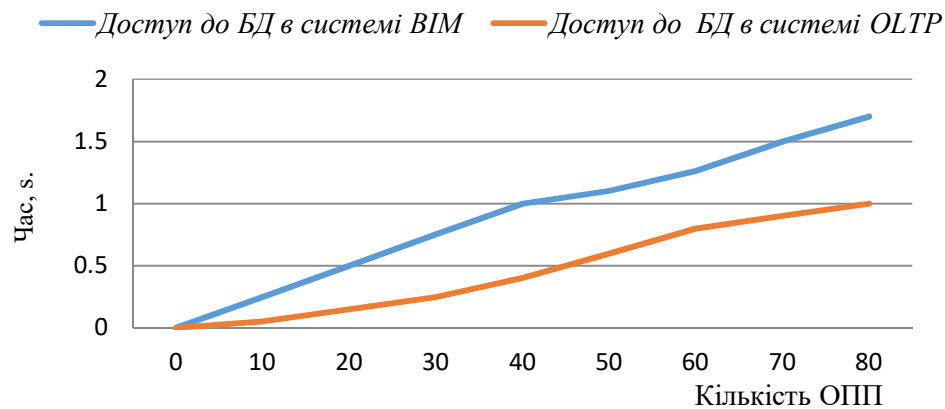


Рис. 5.19. Діаграма результатів доступу до СЗД у системах BIM та OLTP

Проведений експеримент доводить, що для оперативного доступу до інформації в СЗД в ОПС просторового планування OLAP-підхід працює швидше за інші.

5.4. Інформаційна система органів виконавчої влади на основі сервіс-орієнтованої архітектури

Впровадження ІТ у діяльність органів виконавчої влади (ОВВ) дозволить забезпечити інтеграцію та спільне використання базових та спеціалізованих (тематичних) просторових даних, отриманих з різних джерел, відмовитися від паперових носіїв картографічної інформації та перейти на більш якісний рівень виконання повсякденних функцій за рахунок автоматизації процесу та наочного представлення картографічного матеріалу.

Основною метою розробки об'єктно-просторову систему органів виконавчої влади (ОВВ) є створення такої інформаційної системи, яка була б доступною для багатьох користувачів для використовувала б просторову інформацію. З одного боку, система має інтегрувати всі просторові дані в ЄІС, а з іншого боку, забезпечувати доступ всіх зацікавлених користувачів до цих просторових даних (рис. 5.20).

ОПС ОВВ мають виконувати такі основні функції:

- централізоване зберігання та управління базовими просторовими інформаційними ресурсами;
- спільне використання просторових інформаційних ресурсів;
- організація розподіленої системи збору, зберігання та обробки тематичної просторової інформації, включаючи використання хмарних обчислювальних моделей;
- інформаційне забезпечення формування та прийняття управлінських рішень.



Рис 1. Схема взаємодії користувачів

Рис. 5.20.Схема взаємодії користувачів ОВВ

Дослідження організаційних структур ОВВ засвідчує, що інформаційне забезпечення для прийняття управлінських рішень складається з певних бізнес-процесів (рис.5.21):

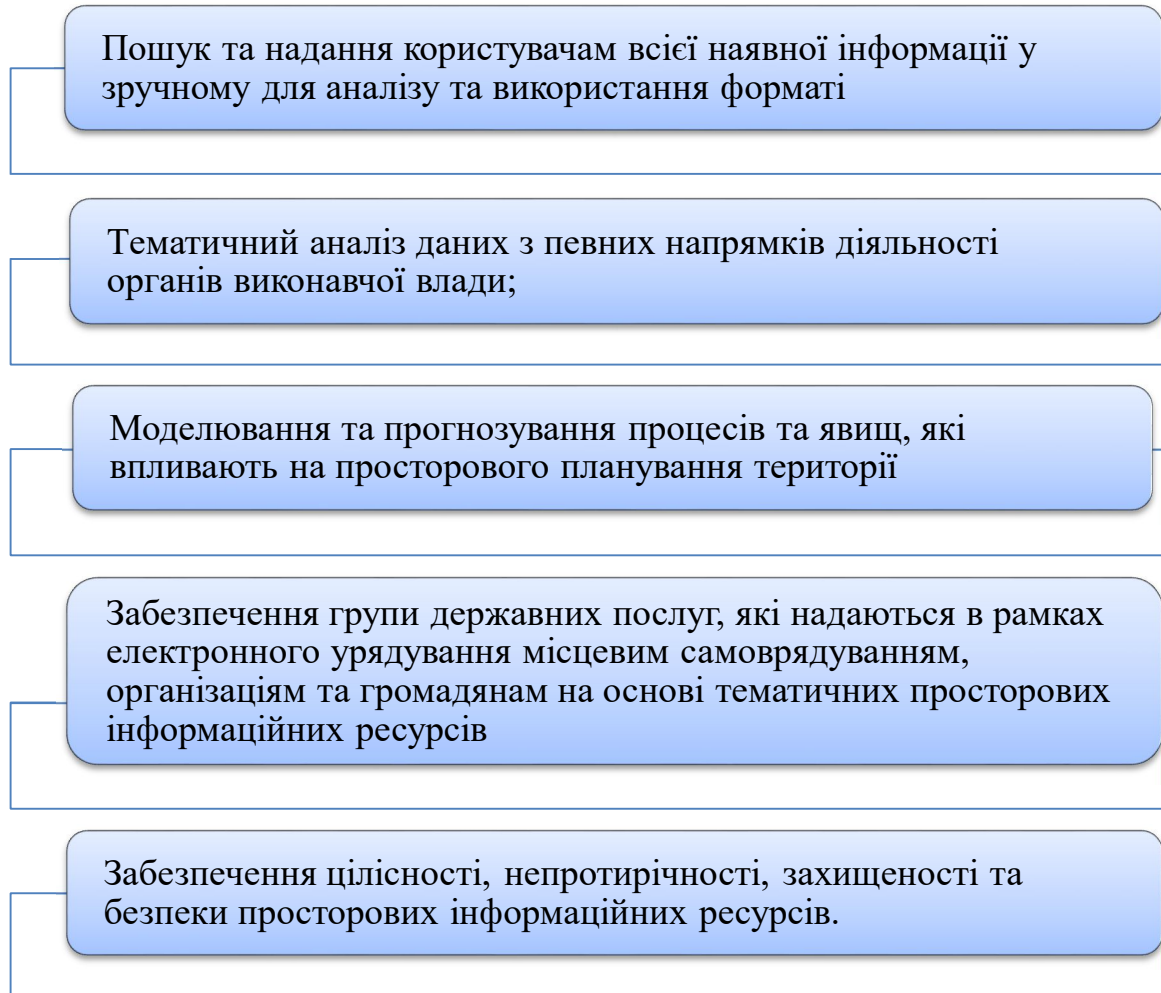


Рис. 5.21. Бізнес-процеси інформаційного забезпечення щодо прийняття управлінських рішень ОВВ

На основі результатів аналізу потреб ОПС, всіх користувачів, що взаємодіють з ІС ОВВ, можна розподілити на три основні категорії (рис. 5.22):

1. адміністратори центру ІС ОВВ,
2. розробники ІС,
3. безпосередні користувачі (органи виконавчої влади, установи, підприємства та організації).

Адміністратори центру ІС ОВВ здійснюють адміністрування просторових даних (спеціалізованих і базових): оновлення та перевірку даних, а також керування правами доступу до даних та сервісів. Розробники ІС займаються розробкою сервісів і додатків, що забезпечують обробку просторових даних користувачами центру ГІС ОВВ. Категорію безпосередніх користувачів ІС ОВВ можна поділити на три типи.

1. Перший тип – це користувачі, які працюють з даними та сервісами інформаційної системи за допомогою стандартного веб-браузера, включаючи мобільні пристрої (без необхідності встановлення спеціального програмного забезпечення).

2. Другий тип – це користувачі, для яких надається можливість розв'язувати задачі, пов'язані з обробкою просторових даних, за допомогою програмного та технічного забезпечення інформаційної системи, при цьому їхні власні просторові дані розміщуються на сервері ІС ОВВ.

3. Третій тип користувачів – це користувачі, які мають власну ІС: програмне та технічне забезпечення, спеціалізовані просторові дані. Цей тип користувачів має можливість використовувати сервіси та просторові дані ІС ОВВ, а також надавати свої просторові дані та сервіси через ІС ОВВ іншим користувачам. Даний тип користувачів має можливість використовувати сервіси та просторові дані ІС ОВВ, а також надавати свої просторові дані та сервіси через ІС ОВВ іншим користувачам.

Відповідно до визначених категорій користувачів, запропонована логічна структура ІС ОВВ, яка складається з трьох основних блоків (рис. 5.23):

1. Блок користувачів, що включає звичайних споживачів інформації, спеціалістів ОВВ та адміністратора ІС ОВВ.

2. Основний блок ІС ОВВ, що включає інтерфейси користувача для вирішення функціональних завдань фахівців ОВВ, роботи з базовими та спеціалізованими просторовими даними в режимі інформаційного довідника,

роботи з метаданими, а також інтерфейс підключення спеціалізованих (тематичних) просторових даних ОВВ.

3. Блок спеціалізованих (тематичних) ІС ОВВ, окремих відомств, підприємств та організацій, який включає аналітичну обробку та інструментальне моделювання базових та спеціалізованих (тематичні) просторових даних ОВВ.

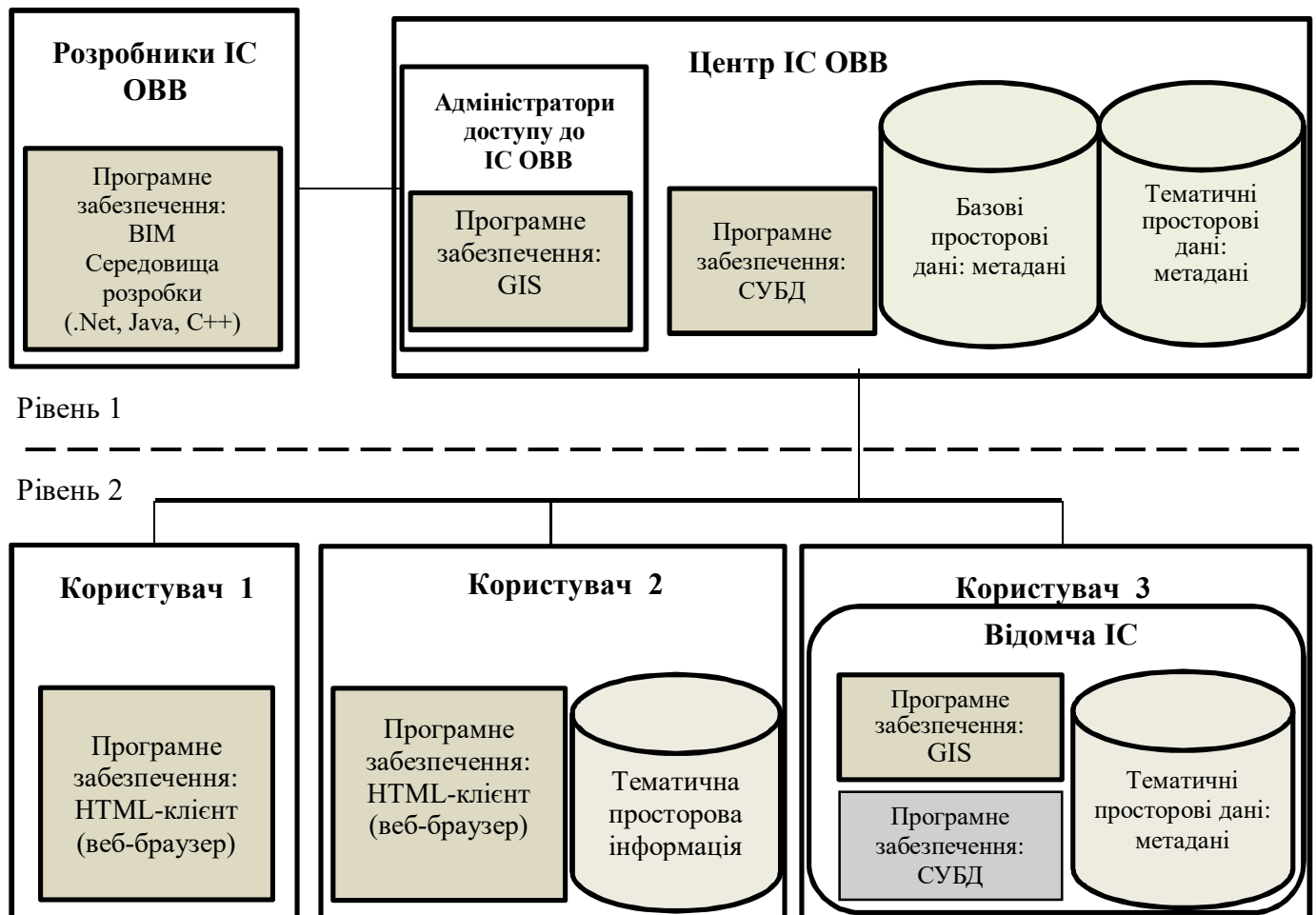


Рис.5.22. Основні типи користувачів ІС ОВВ

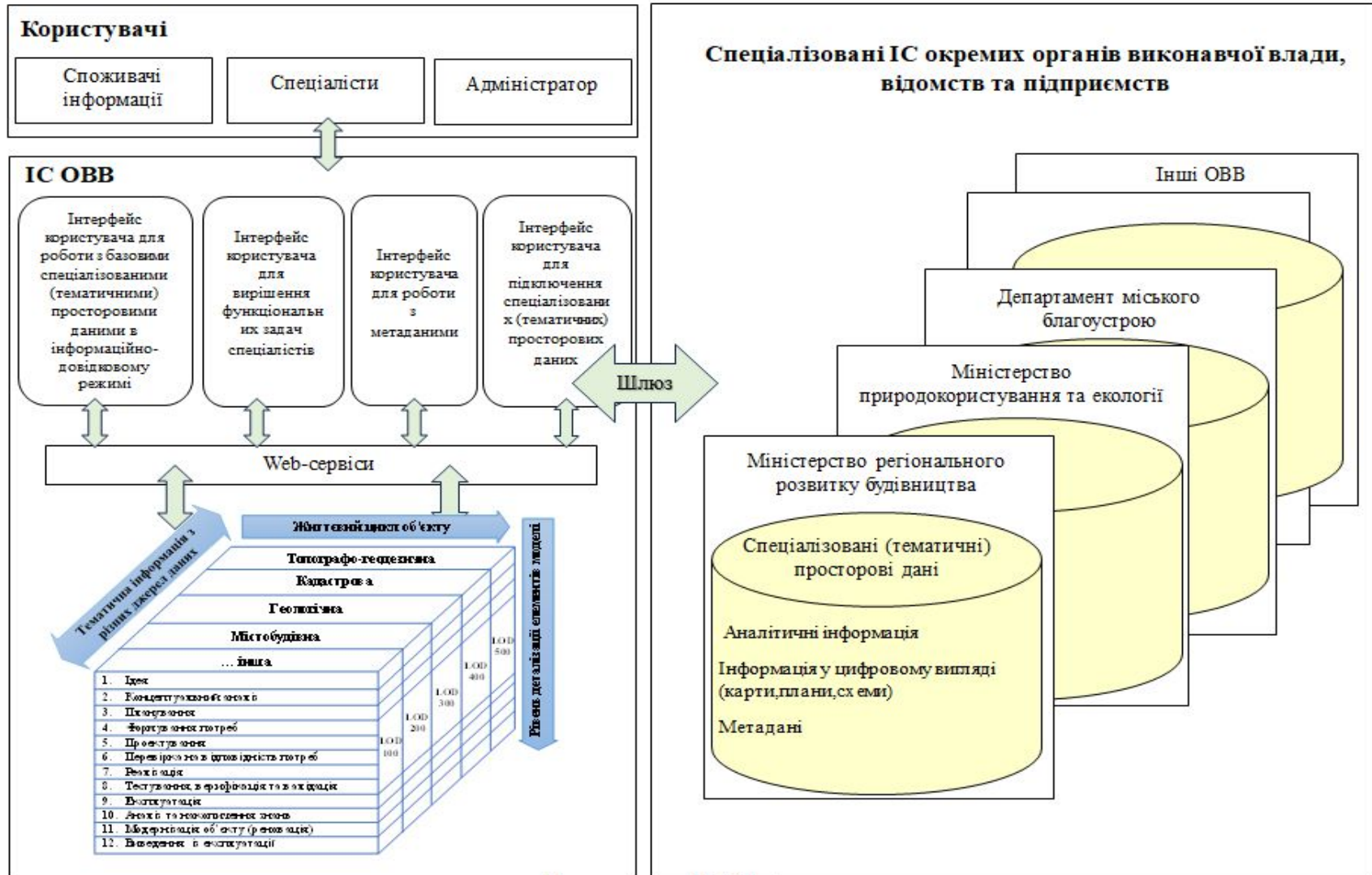


Рис.5.23. Логічна структура ІС ОВВ

Структура ЄІС визначає функції, які має виконувати ІС ОВВ для інформаційного забезпечення бізнес-процесів зазначених категорій можливих користувачів системи. Загалом існує три види просторової інформації, інтеграція яких має бути організована в ІС ОВВ:

- 1) базова просторова інформація, розташована безпосередньо в сховищі БД ІС ОВВ;
- 2) спеціалізована просторова інформація ОВВ, яка розташована у власних інформаційних системах цих органів;
- 3) спеціалізована просторова інформація ОВВ, створена засобами ІС ОВВ та зберігається безпосередньо в сховищі БД ІС ОВВ.

Для реалізації можливості практичного використання просторових даних, як загальних, так і спеціалізованих, необхідно вирішити завдання їх інтеграції на єдиній програмно-апаратній платформі. При цьому інтеграція даних здійснюється за допомогою єдиного уніфікованого інтерфейсу для різноманітних неоднорідних незалежних джерел даних. Аналіз світового досвіду реалізації подібних систем [3, 5] показав, що найбільш ефективною технологією інтеграції базової і спеціалізованої просторової інформації є технологія інтеграції на основі сервіс-орієнтованої архітектури.

Сервіс-орієнтований підхід дозволяє інтегрувати дані з багатьох незалежних баз даних та організувати інформаційну взаємодію між ними за допомогою уніфікованого методу. Структура розподіленої бази просторових даних (РБД) може бути описана наступним виразом:

$$\text{РБД} = \text{БПД} \cup \text{СПД}_1 \cup \text{СПД}_2 \cup \dots \cup \text{СПД}_n = \text{БПД} \cup \text{СПП}_i, \quad i = 1, n \quad (5.7)$$

де СПД_i – база спеціалізованих просторових даних i -го органу виконавчої влади, БПД – базові просторові дані, а n -число інтегрованих баз спеціалізованих просторових даних.

Відповідно до сервіс-орієнтованого підходу, інформаційна система з сервіс-орієнтованою архітектурою включає в себе множину сервісів $S^t = \{S_n^t\}$ і множину бізнес-сервісів $S^b = \{S_k^b\}$. При цьому сервіс (служба) - це програмний компонент, що надає певні функціональні можливості запитуючій стороні, до якого можна звернутися віддалено через комп'ютерну мережу [6].

Стосовно до інформаційних систем, при використанні сервіс-орієнтованого підходу для інтеграції просторових даних, для кожної бази даних, яка інтегрується в РБД, розробляється:

- власний сервіс даних Sd_i ,
- набір сервісів геообробки Sg_i^n
- картографічних WEB-сервісів Sw_i^r для візуалізації просторових даних кінцевому користувачу через WEB-інтерфейс.

Тоді з точки зору сервіс-орієнтованого підходу РБД може бути представлена наступним відношенням:

$$\text{РБД} = Sd_i \cup Sg_i^n \cup Sw_i^r, i = \overline{1, n}, \quad (5.8)$$

де i – індекс інтегрованої в РБД бази даних, n – число сервісів геообробки, r – число картографічних веб – сервісів.

Сервіс даних представляє собою набір кодів документів цифрових (картографічних) матеріалів, що зберігаються в базі даних метаданих - C_k , набір їх характеристик - H_m і набір функцій F_l , реалізуючих механізми доступу до них:

$$Sd_i = \{C_k, H_m, F_l\}, \quad (5.9)$$

де k – індекс документа карти, l – індекс функції, що реалізує певний механізм доступу, а m – індекс характеристики карти.

Сервіси геообробки Sg_i^n в ІС можуть звертатися до різних джерел даних, і представляють собою множину кодів джерел даних - C_{Sd_i} , і множина моделей їх геообробки - M_i^n .

$$Sg_i^n = \{C_{Sd_i}, M_i^n\}. \quad (5.10)$$

Картографічні веб-сайти представляють собою множину кодів джерел просторових даних – C_{sd_i} , множина кодів сервісів геообробки просторових даних - $C_{sg_i^n}$, і множина характеристик сервісу - $H_{w_i^r}$.

$$Sw_i^r = \{C_{sd_i}, C_{sg_i^n}, H_{w_i^r}\}. \quad (5.11)$$

Згідно з введеними визначеннями, схема взаємодії сервісів у ІС ОБВ має вигляд, показаний на рис. 5.24.

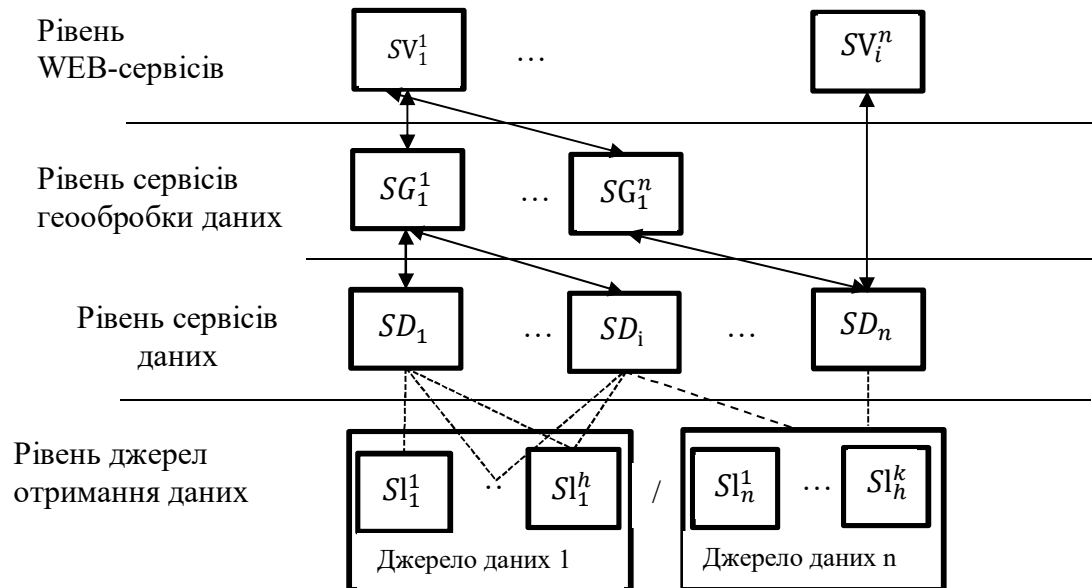


Рис 5.24. Схема взаємодії сервісів для інтеграції даних

Вирішення задачі інтеграції просторової інформації з використанням технології на основі сервіс-орієнтованої архітектури дозволяє забезпечити інтеграцію просторової інформації з різних неоднорідних джерел в єдину інформаційну систему, а також обробку цієї інформації єдиним уніфікованим методом - за допомогою сервісів даних, геообробки та картографічних WEB-сервісів. Згідно з запропонованою технологією інтеграції була розроблена сервіс-орієнтована архітектура ІС ОБВ (рис. 5.25), яка дозволила інтегрувати всі три типи просторової інформації в єдину інформаційну систему.

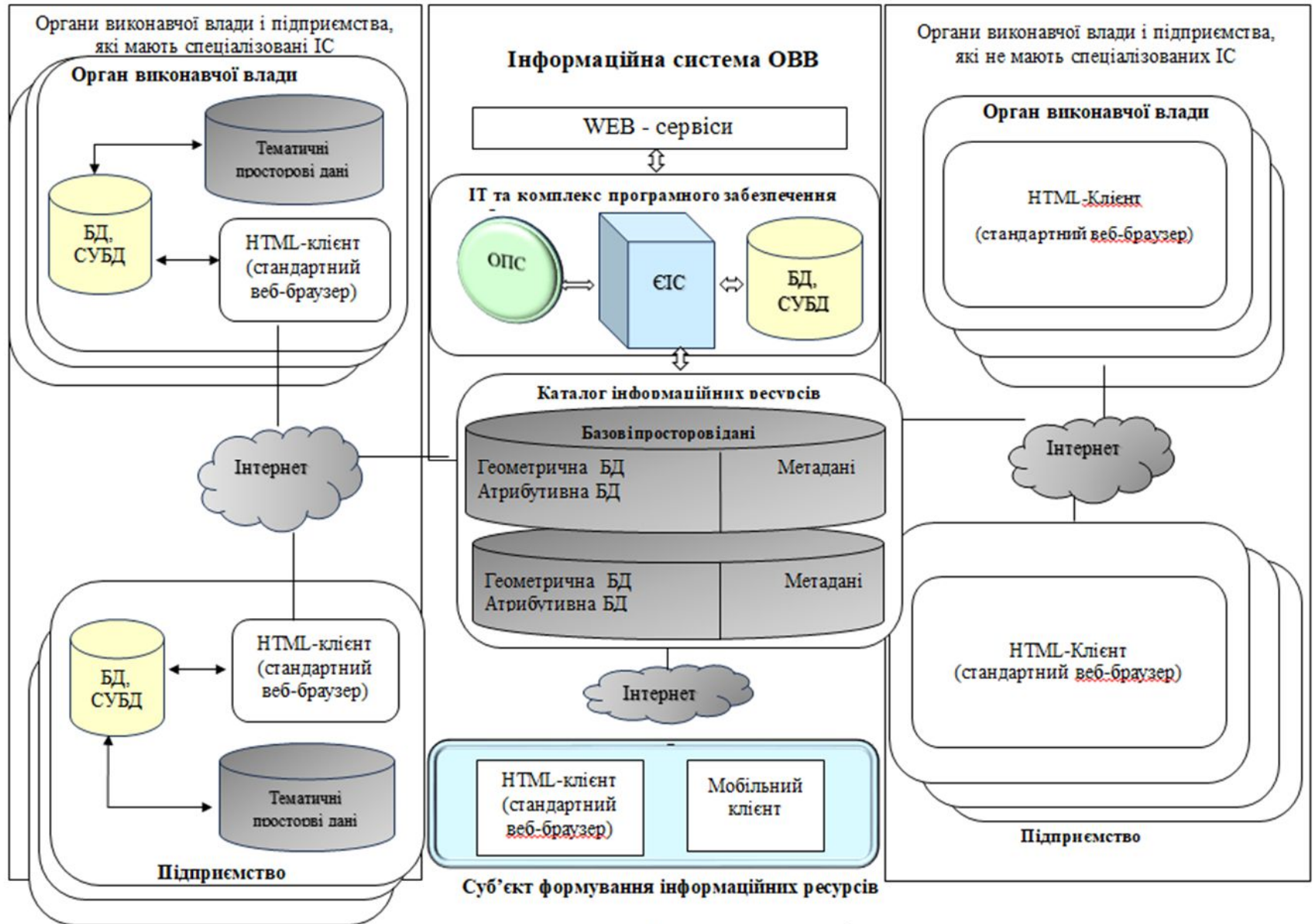


Рис. 5. 25. Сервіс-орієнтована архітектура ІС ОБВ

Висновки до розділу 5

1. Запропоновано архітектуру адаптивної програмної системи для реалізації ІС просторового планування, яка заснована на моделях варіативності та рівнях рефлексії розробки програмного забезпечення. Практичне значення полягає в тому, що надання прикладній програмній системі адаптивних властивостей надасть змогу їй здійснювати модифікацію своєї структури на якісно новому рівні, що своєю чергою підвищить її надійність, стійкість до відмов, гнучкість, знизить вартість супроводу та продовжить термін експлуатації. Така система зможе розширювати клас розв'язуваних завдань просторового планування протягом усього життєвого циклу будівельного проєкту, а також виконувати такі операції, які на сьогодні вважаються частиною обов'язків певних спеціалістів. Наприклад, зможе виконувати функції самоадміністрування.

2. Розроблена інтегрована модель життєвого циклу ОПП на основі BIM. Склад BIM-моделей на кожному етапі життєвого циклу відрізняється кількістю та якістю інформації. Модель PRE-BIM створюється на етапі перед проєктом і містить дані про основні проєктні рішення та техніко-економічні показники. Модель D-BIM формується на стадії проєктування і містить дані у вигляді моделей відповідно до проєктної документації. Модель C-BIM формується на етапі будівництва на основі проєктної документації з урахуванням даних про акти виконаних робіт, виконавчих документів, архіву нагляду, журналу технічного нагляду підрядника та замовника. Модель E-BIM формується на етапі управління об'єктом та експлуатації на основі моделі C-BIM і доповнюється інформацією про експлуатаційні витрати енергоносіїв, даними систем автоматизації моніторингу та обліку показників ефективності роботи системи.

3. Запропоновані структурні компоненти середовища загальних даних для об'єктно-просторових систем комплексної інформаційної підтримки та

консолідації інформації з різних автоматизованих систем. Для автоматизації топологічних відносин доведена доцільність використання OLAP-технології, в якій використовуються спеціалізовані багатовимірні бази даних для оперативного доступу до інформації в середовищі загальних даних ОПС. Здійснена формалізація обробки запита користувача з WEB-порталу, до якого підключено декілька ІС.

4. Розроблено сервіс-орієнтована архітектуру інформаційної системи органів виконавчої влади для забезпечення інтеграції та спільного використання базових та тематичних просторових даних, отриманих з різних інформаційних джерел для узгодженості прийняття управлінських рішень.

5. Інтеграція ВІМ і GIS технологій дозволяє ґрунтовно перейти до нового підходу просторового планування міського середовища. Для вирішення проблеми розроблено уніфікований стандарт СІМ методології, який для свого інформаційного наповнення може використовуватися як GIS, так і ВІМ стандарти. Практична цінність полягає в інтеграції структур даних ВІМ та GIS технологій для розробки уніфікованого стандарту СІМ, який має стати основою інтегрованого інформаційної платформи загальних даних для моделювання міського середовища.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [237, 246, 251, 255, 263, 273, 285, 287, 297, 301, 305–308].

РОЗДІЛ 6. ПРИКЛАДНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСЬКОГО ПРОСТОРУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ

6.1. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища і розроблення цифрових двійників міських об'єктів

Сучасним етапом розвитку будівельної галузі є її цифровізація, що вимагає трансформації процесів і моделей на основі використання сучасних ІТ для розробки цифрових платформ і двійників. Міське планування – це складний процес контрольованого розвитку міста, і проблема цифровізації міста як системи в цілому не втратила своєї актуальності. На основі запропонованих методологічних компонентів пропонується вирішити проблему застосування й інтеграції сучасних інформаційних технологій для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів як компонентів системи "Розумне місто" (англ. Smart City).

Міське планування – це складний процес контрольованого розвитку міста. Збирання даних, аналіз, прогнозування та оцінка, визначення цілей та публічні обговорення є одним із багатьох питань, які мають охопити містобудівники [219]. З впровадженням нових ІТ зі збирання, зберігання та аналізу даних стає можливим покращення якості життя, міських послуг та стійкості розвитку урбанізованого простору. Розвиток розумних міст є складним процесом, який складається з множини різних систем, типів даних та наборів інформації, а також описує взаємодію між міськими системами і зацікавленими сторонами.

Міське інформаційне моделювання (City Information Modelling – CIM) та цифрові двійники міст (Urban Digital Twins – UDT) – це два види технологічних практик, які можуть бути використані для надання допомоги містобудівникам у

розробці розумних міст, які мають бути стійкими, безпечними та придатними для життя людини [140, 146].

Можна визначити СІМ як практику використання інтерактивних цифрових технологій у межах процесу міського планування. Концепція СІМ виникла як еволюція інформаційного моделювання будівель (ВІМ), у якому використовують технологію для створення цифрової моделі будівлі, що вимагає збирання, аналізу та візуалізації даних для прийняття обґрунтованих рішень. UDT поєднує 3D-моделі міст з динамічними даними, зібраними за допомогою датчиків і геопросторових систем, щоб допомогти краще зрозуміти життєдіяльність міста.

Застосування ІТ для успішного розв'язання містобудівних задач полягає в необхідності картографування існуючого міського середовища, злиття його із передбачуваними проєктними розробками та прогнозування того, як результат вплине на наявні компоненти міської системи. Задача ІТ полягає в тому, щоб стати ефективним інструментом, який дасть змогу раціоналізувати існуючі переваги ресурсів міста, що допоможе вирішити проблеми і виклики, пов'язані зі складністю міських систем. ІТ можуть надати багато альтернативних рішень для розглядуваної проблеми і допомогти у прийнятті рішень, надавши вагомі докази, якщо прийнята містобудівна концепція працює для її реалізації.

Система міського середовища дуже складна, і включає не тільки статичну модель навколишнього середовища, але й динамічні містобудівні об'єкти. У такій системі виробляється велика кількість інформації, але корисною така інформація є в тій мірі, в якій вона може бути з користю застосована для системи. В епоху інформаційного вибуху важливо відбирати якісні джерела даних для прийняття компетентних рішень. Для того щоб ефективно витягати корисні дані з масивів інформації, слід спочатку упорядкувати цю інформацію.

Проблема застосування та інтеграції сучасних інформаційних технологій (ІТ) для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників

міських об'єктів у складі системи "Розумне місто" (англ. Smart City) відповідає актуальним потребам просторового планування у містобудуванні та вирішення якої буде сприяти розвитку міського середовища в цілому.

Пропонується методологію інформаційного моделювання міст (City Information Modelling, скорочено – CIM) розглядати як комплекс інформаційного забезпечення на основі BIM, GIS та IoT технологій (рис. 6.1), які допомагають об'єднати міські дані різних просторових масштабів та часових вимірів. Певною мірою під технологію CIM можна розуміти розширення технології BIM до меж міста, що надає можливість тривимірної візуалізації, координації обміну даними, моделювання та динамічної оптимізації інформації.

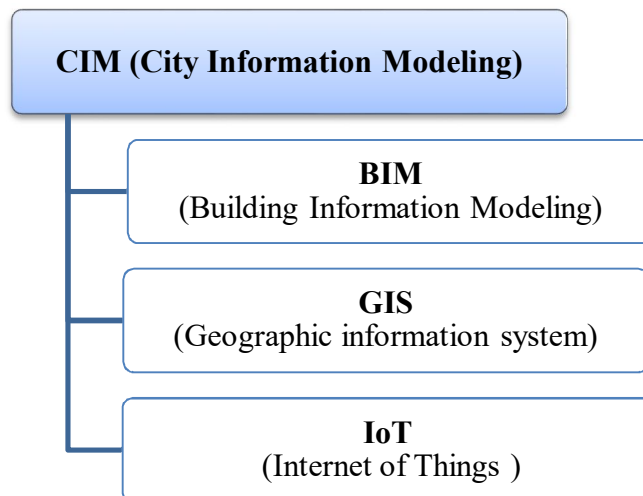


Рис. 6.1 – ІТ для моделювання міського середовища

Геоінформаційна система (англ. Geographic information system (GIS)) належить до технологій збирання, зберігання, управління, обчислення, аналізу, відображення та опису даних, пов'язаних з географічним розподілом у просторі земної поверхні (включаючи атмосферу), які можуть чітко показувати взаємозв'язок між будівлями та географічним середовищем і володіють

потужними можливостями просторового комплексного аналізу [168]. За допомогою GIS, СІМ можна реалізувати в єдиній системі просторових координат управління та аналіз 2D та 3D даними у великих масштабах. У порівнянні з ВІМ GIS приділяє більше уваги можливостям управління макроданими і просторовому аналізу в міському масштабі. Крім того, GIS, як важливий метод опису макрогеографічного просторового середовища міста, підтримує з'єднання незалежних ВІМ-моделей окремих об'єктів у модель цілого міста.

Технологія Інтернет-речей (англ. Internet of Things (IoT)) – це мережева система, заснована на мережі Інтернет та традиційних телекомунікаційних мережах, яка об'єднує різне обладнання для зчитування інформації. Така технологія дає змогу реалізувати взаємозв'язок людей, машин і речей в будь-який час і в будь-якому місці [165]. IoT можна розглядати як "нейронну мережу" СІМ. Завдяки своїй можливості динамічного моніторингу, IoT надає СІМ оновлені міські експлуатаційні дані майже в реальному часі. Застосування IoT технологій в СІМ є ключем до просування СІМ – від статичного опису до динамічного сприйняття.

Інтеграція технологій ВІМ, GIS та IoT допомагає реалізувати цифрове відтворення фізичних міст, створюючи об'єктивний, майже в реальному часі, і складний цифровий міський просторовий об'єкт, а саме СІМ-об'єкт, який має стати цифровою основою для інтелектуального планування, будівництва, управління та експлуатації міста. Крім того, з розвитком сучасних інформаційних технологій, такі технології, як системи штучного інтелекту (англ. Artificial intelligence (AI)) і Big Data також визнаються ключовими технологіями для моделювання міського середовища [145].

Застосування IT Big Data вирішує проблеми аналізу та опрацювання великомасштабних і складних наборів даних в СІМ. Водночас, враховуючи потреби СІМ в технічній підтримці діяльності всього міста, Big Data надає

низку параметрів, які налаштовуються відносно тематичних моделей оцінки й аналізу, включаючи населення, транспорт, громадські послуги та інші сфери життєдіяльності для всебічного поліпшення можливостей інтелектуального аналізу СІМ для міського середовища. ІТ Big Data дозволяє розробляти стійкі структури з використанням тестових моделей перед фактичним будівництвом

На основі опрацювання джерел [171, 178, 185, 205, 207] на рис. 6.2 систематизовано десять властивостей ІТ Big Data, які необхідні для створення цифрового двійника міського об'єкта.

На вибір ІТ для розробки цифрового двійника міського об'єкта впливає середовище моделювання, яке охоплює різні рівні деталізації проєкту, починаючи від будівель і закінчуючи об'єктами інфраструктури міст. Такі інформаційні технології є ВІМ орієнтованими, оскільки саме вони використовуються на стадії проєктування об'єкта будівництва. Основними джерелами даних таких ІТ є об'єктно-орієнтовані моделі, але це не означає, що ВІМ технологія заснована на програмному забезпеченні для розробки цифрових моделей. Дані зберігаються в системах, які знаходяться за межами основного робочого проєкту, окремо від ВІМ, але метадані пов'язують їх всі разом протягом життєвого циклу в єдиному середовищі загальних даних. Наприклад, при плануванні будівлі необхідно враховувати вибір місця розташування, і схеми руху транспорту, і доступність комунальних послуг, питання інсоляції та тіньового аналізу тощо.

1. Цінність	<ul style="list-style-type: none"> • Будівельний проєкт отримує цінні та значні переваги з використанням великих даних
2. Обсяг	<ul style="list-style-type: none"> • Основна частина ІМ створюється на великих даних
3. Швидкість	<ul style="list-style-type: none"> • Швидкість, з якою розширюються джерела великих даних, може прискорити процес реалізації проєкту
4. Допустимість	<ul style="list-style-type: none"> • Точність і достовірність мають вирішальне значення для забезпечення корисності великих даних
5. Уразливість	<ul style="list-style-type: none"> • Великі дані дозволяють розробляти надійні будівельні моделі
6. Нестабільність	<ul style="list-style-type: none"> • Моделі об'єктів можуть залежати та змінюватися відповідно до джерел великих даних
7. Візуалізація	<ul style="list-style-type: none"> • Візуалізація даних стає все більш складною зі збільшенням обсягу великих даних
8. Різноманітність	<ul style="list-style-type: none"> • Різноманітність джерел великих даних розширює можливості застосування проєктів
9. Достовірність	<ul style="list-style-type: none"> • Надійність джерел великих даних оцінюють на основі їх достовірності
10. Мінливість	<ul style="list-style-type: none"> • Великі дані можуть сильно відрізнятися залежно від джерел вилучення наборів даних

Рис.6.2. Характеристики Big Data для створення цифрового двійника

На стадії «Проект» цифрові двійники міських об'єктів застосовуються для моделювання різних варіантів свого майбутнього використання. Моделювання застосовується для підтримки прийняття проєктного рішення, а використання датчиків IoT допомагає визначити ефективність експлуатації майбутнього міського об'єкта на основі його цифрового двійника. Приклад цього взаємозв'язку можна продемонструвати в ситуації, в якій власник земельної ділянки має розробити варіанти її використання та прийняти оптимальне проєктне рішення, яке одночасно б відповідало стратегії територіального

розвитку міста і принесло б власний цільовий прибуток. Ключовим моментом є те, що цифровий проєкт не може суперечити будівельним нормам і правилам, він має демонструвати відповідність планам розвитку міської інфраструктури.

На рис. 6.3 наведено трикомпонентну концептуальну схему ІТ «АВС» (А – Artificial intelligence, В – Big Data, С – СІМ) для управління міським простором.

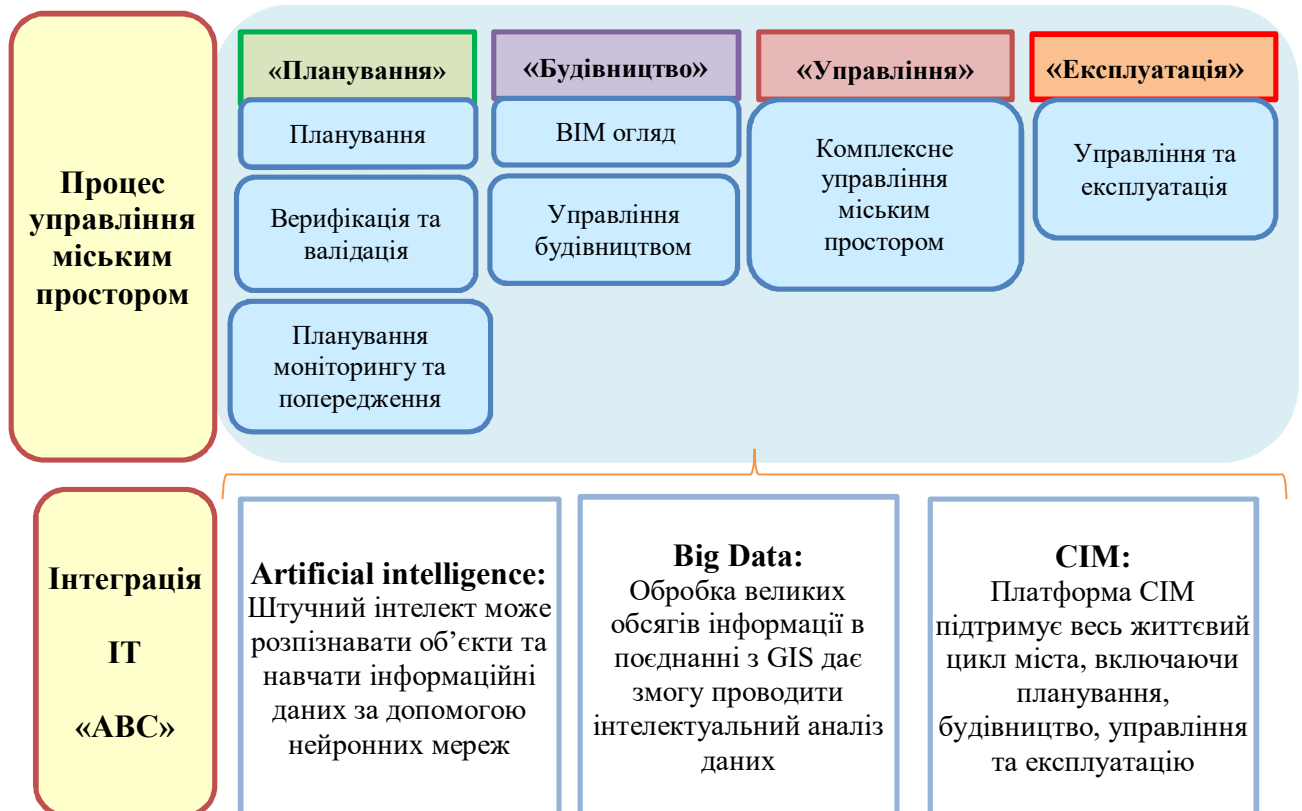


Рис. 6.3. Концептуальна схема ІТ для управління міським простором

Технологія інформаційного моделювання в будівництві вже стала цифровим інструментом-стандартом для автоматизації процесів планування та проєктування об'єктів будівництва, тому проблему інтеграції інформаційних технологій для цифровізації міського середовища доцільно розглядати саме на основі BIM-технології. Пропонується ієрархічну структуру, яка складається з шести ІТ-рівнів, щоб представити еволюцію застосування можливостей BIM-технології для створення цифрових двійників міських об'єктів (City Digital

Twins - CDT) (рис. 6.4). Структура включає такі рівні: рівень 1 – BIM, рівень 2 – ГІС- моделювання з підтримкою BIM, рівень 3 – BIM, інтегрований з Big Data, рівень 4 – BIM, інтегрований з Інтернетом речей (IoT), рівень 5 – BIM, інтегрований зі штучним інтелектом (AI), і рівень 6 – City Digital Twin.

- BIM надає City Digital Twin тривимірну візуалізацію, координацію обміну даними, моделювання та динамічну оптимізацію інформації. ГІС відповідає за збір, зберігання, управління, обчислення, аналіз, відображення та опис даних, що стосуються географічного розподілу в просторі земної поверхні. Такі дані можуть чітко показати зв'язок між будівлями та географічним середовищем і мають потужні можливості просторового аналізу [132].

- За допомогою GIS City Digital Twin може застосовувати єдину просторову систему координат, а також керувати даними та аналізувати 2D і 3D дані у великому масштабі. У порівнянні з BIM GIS приділяє більше уваги можливостям керування макроданими та просторовому аналізу в міському масштабі. Крім того, GIS, як важливий метод опису макрогеографічного просторового середовища міста, підтримує підключення незалежних окремих BIM-моделей в інформаційну систему міста.

- Застосування технологій Big Data вирішує задачі аналізу та обробки великомасштабних і складних масивів даних і забезпечує низку тематичних моделей налаштування, оцінки та аналізу, що охоплюють такі підсистеми міського середовища, як населення, транспорт, комунальні послуги тощо.

- IoT дозволяє збирати та інтегрувати безперервні потоки інформації про навколишнє середовище та може показати взаємозв'язок людей, машин і речей у місті в будь-який час і в будь-якому місці. Застосування технології IoT є ключем до просування CDT від статичного опису до динамічного сприйняття.

- AI (штучний інтелект) оптимізує можливості розпізнавання даних шляхом тестування та вивчення даних, наданих муніципальними службами, підприємством, соціальними мережами та Інтернетом. Це дає змогу краще

прогнозувати тенденції міського розвитку, а також дозволяє краще планувати та управляти містом.

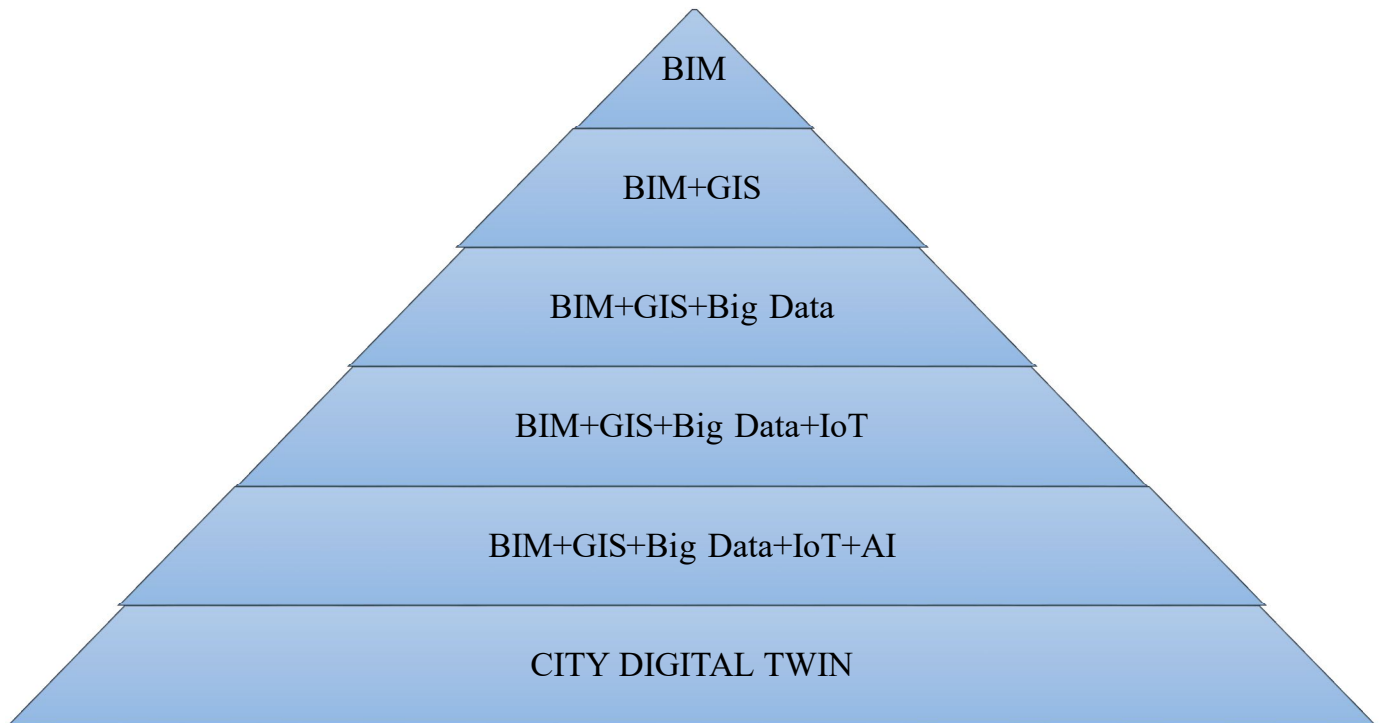


Рис. 6.4. Ієрархічна структура IT-рівнів для розробки цифрового двійника міського об'єкта

Таким чином, створення CDT починається з технології BIM. GIS використовується для надання інформації про забудовану частину міста разом із великою кількістю даних із систем, які знаходяться за межами основного робочого процесу BIM. Технології великих даних дозволяють перевіряти та обробляти ці великі набори даних. Застосування технології IoT дозволяє динамічно з'єднувати та контролювати компоненти CDT. Системи штучного інтелекту нададуть можливість розпізнавати та вивчати отримані дані на основі нейронних мереж.

Одна з проблем цієї структури полягає в тому, що дані з різних інформаційних систем зберігаються в основному ізольовано, і підключення їх до загального середовища даних вимагає величезної кількості ручної роботи.

Інша проблема пов'язана з походженням даних: наскільки кваліфікованими та точними є дані. Якщо якість даних не може бути гарантована, проєктні рішення завжди пов'язані з ризиком. Для вирішення цих завдань пропонується розробити інтегратор інформаційної системи, концептуальна схема якого представлена на рис. 6.5.

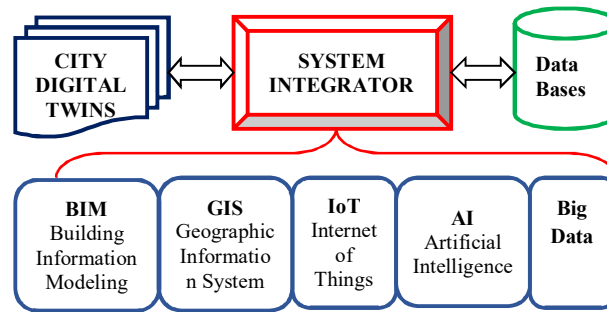


Рис. 6.5. Модель системного інтегратора ІТ для цифровізації міського середовища та міських об'єктів

Для отримання інформації про забудовану частину міста використовуються GIS- системи, дані із яких які знаходяться за межами основного робочого процесу BIM. Основна увага при розробці цифрового двійника приділяється варіантам використання, пов'язаним з вигодами для бізнесу і точками зору різних зацікавлених сторін. Моделювання використовується для підтримки цих варіантів використання, а технологія IoT застосовується для розуміння продуктивності варіантів використання. Дані з цих варіантів використання об'єднуються в озера даних, а для забезпечення розуміння і навчання використовується звичайна бізнес-аналітика і штучний інтелект. На рис. 6.6 наведено схему інтеграції ІТ для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів (Urban Digital Twins).

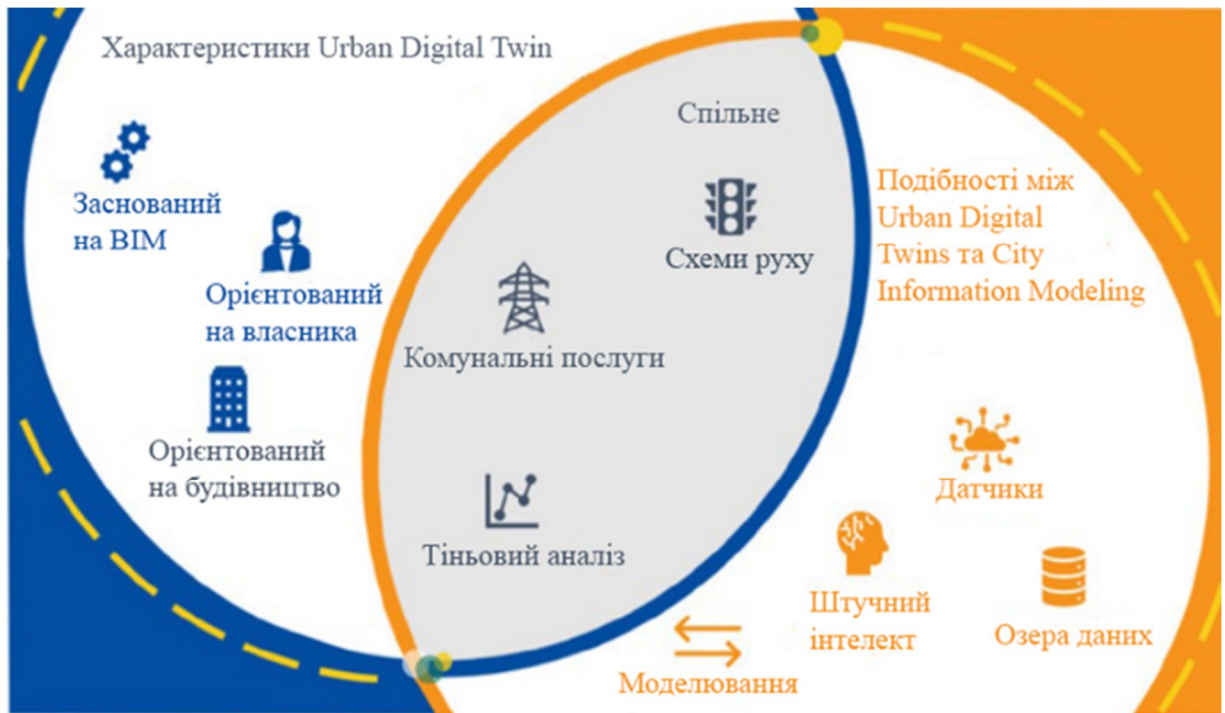


Рис. 6.6. Схема інтеграції ІТ для моделювання міського середовища (City Information Modelling) та створення цифрових двійників міських об'єктів (Urban Digital Twins)

Розробка і застосування цифрових двійників — це передова технологія-драйвер, що сприяє створенню конкурентоспроможних на глобальному рівні і затребуваних продуктів нового покоління в найкоротші терміни, а також технологія-інтегратор наскрізних цифрових технологій. На рис. 6.7 показані типи цифрових двійників, необхідних для реалізації будівельного проєкту.

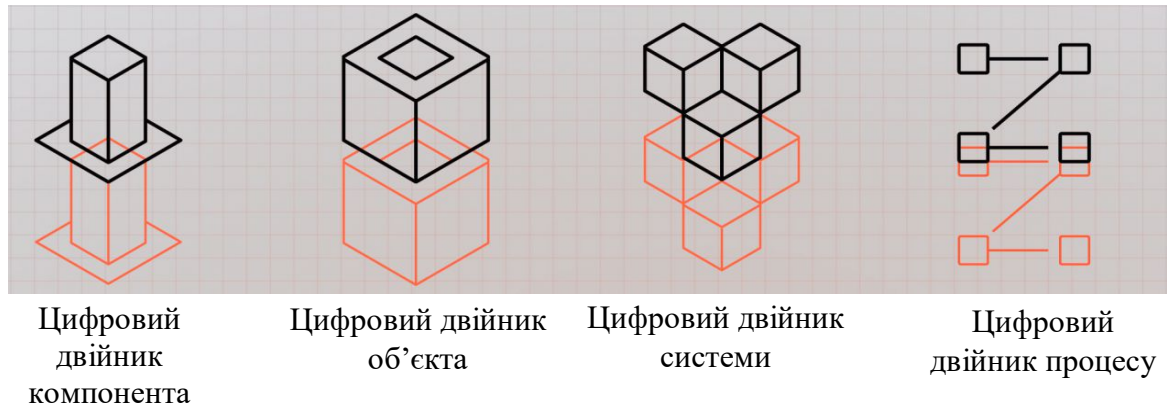


Рис. 6.7. Типи цифрових двійників для реалізації будівельного проєкту

На рис. 6.8 представлена авторська концепція створення цифрового двійника будівельного проєкту протягом життєвого циклу. Цифровий двійник – це складна модель компонента, об'єкта, системи і процесу, що дозволяє досягати стратегічно визначених цілей. Таким чином, для реалізації концепції, представленої на рис. 6.8, необхідно створити цифрові двійники для окремого компонента (стіни), об'єкта (будівлі), системи (просторового планування) і процесу (реалізація життєвих циклів будівельного проєкту).

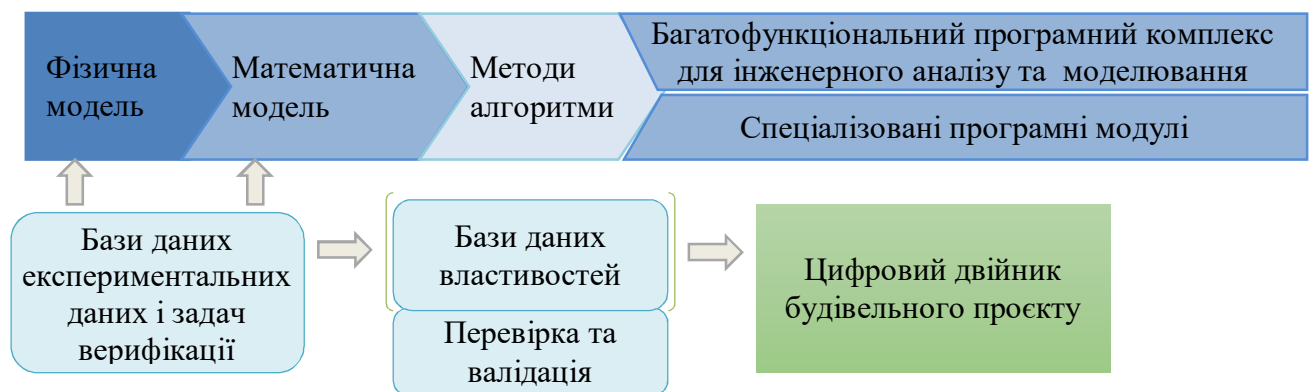


Рис. 6.8. Концепція створення цифрового двійника будівельного проєкту протягом життєвого циклу

На рис. 6.9 представлений набір цифрових інструментів, необхідних для оптимізації будівельного виробництва та пов'язаних з ним бізнес-процесів.

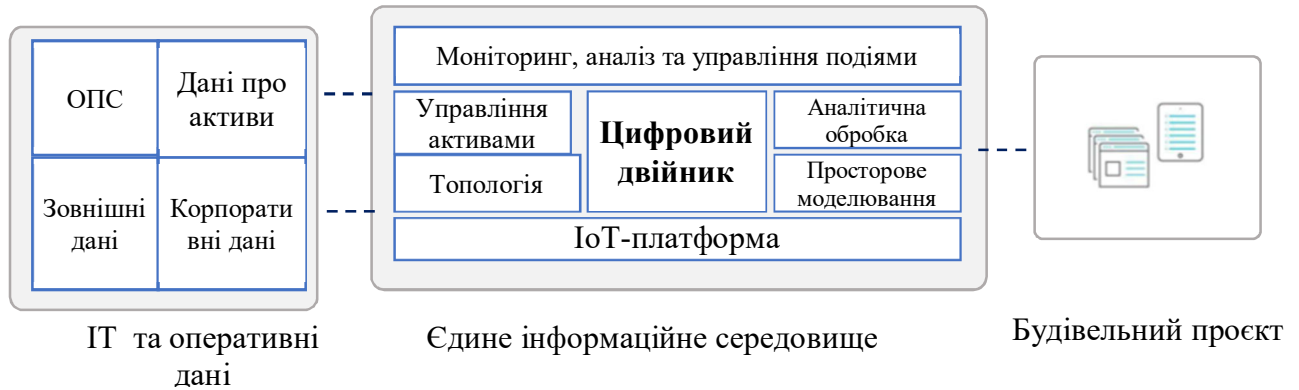


Рис. 6.9. Цифрові інструменти для оптимізації бізнес-процесів будівельного проєкту

Представлені цифрові інструменти мають спільну платформу на основі ЄІС і забезпечують інтеграцію даних, що дозволяє систематизувати і вбудувати процес формування цифрових двійників в єдину інформаційну технологію.

Цифрову платформу слід розглядати як систему управління діяльністю в області цифрового проєктування, математичного моделювання та обчислювальної техніки, яка призначена для розв'язання таких завдань:

- формування багаторівневої матриці цільових показників (характеристик) і ресурсних обмежень (тимчасових, фінансових, інтелектуальних, технологічних/виробничих);
- розробка математичних моделей з високим рівнем відповідності реальним матеріалам, конструкціям/машинам/агрегатам/механізмам/приладам/установкам/спорудам і т. д.;
- виконання віртуальних тестів;
- розробка віртуальних тестових майданчиків, проведення на них віртуальних тестів;

- розробка цифрових двійників та інтелектуальних цифрових двійників;
- автоматизація інженерних розрахунків;
- збір, обробка, каталогізація моделей і варіантів розрахунку;
- моніторинг, обробка та візуалізація результатів інженерних розрахунків, еволюції різних показників / характеристик об'єктів і процесів, а також технологічних / виробничих обмежень на всіх етапах життєвого циклу.

Модель ІС створення цифрових двійників в ЄІС представлена на рис. 6.10 на основі запропонованих ІТ та розглянутих цифрових інструментів, призначених для розробки та супроводу будівельного проєкту.

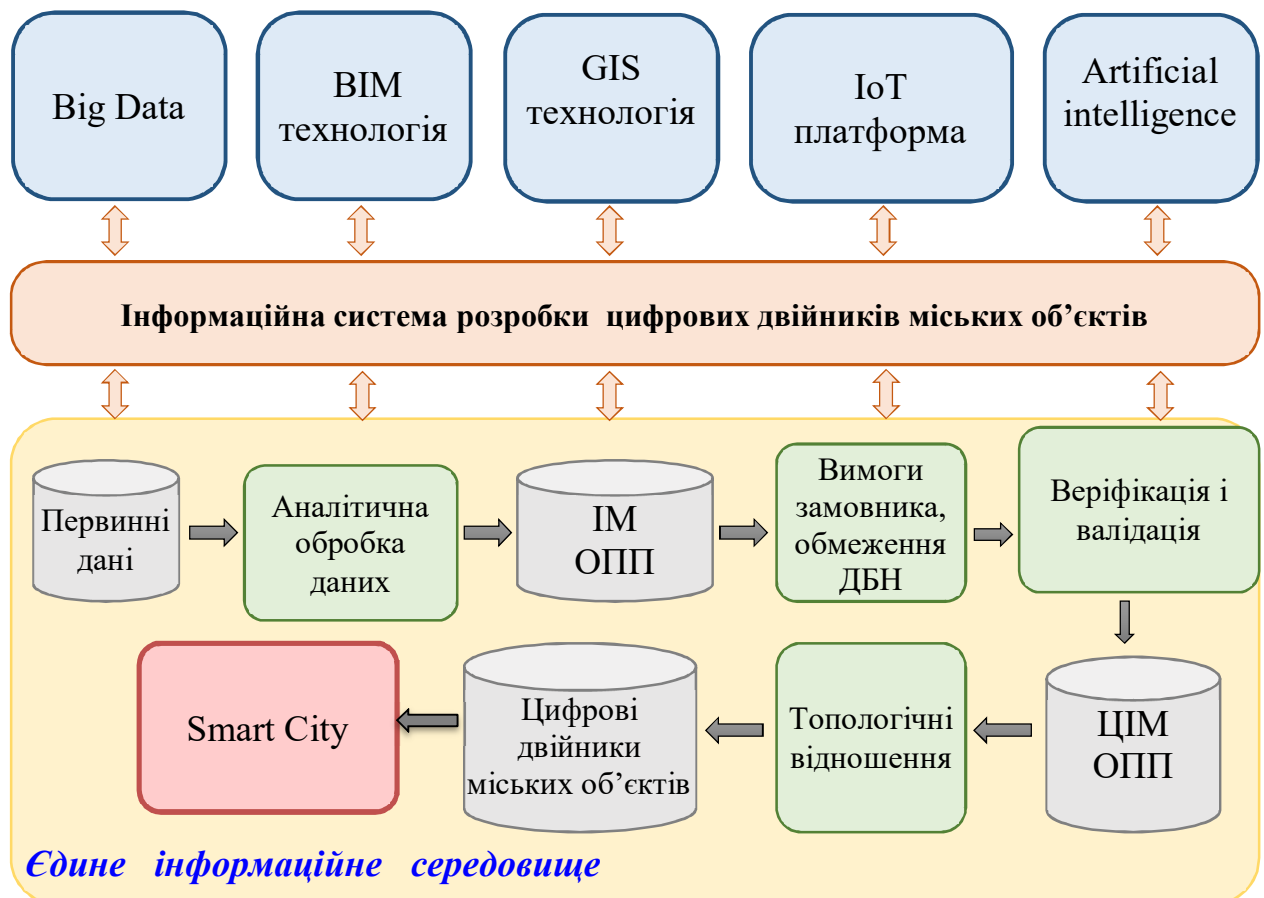


Рис. 6.10. ІС розробки цифрових двійників міських об'єктів в ЄІС для ІС "Розумне місто" (Smart City)

Використання такої моделі (рис. 6.10) дозволить відслідковувати зміни, еволюцію і модифікацію розрахункових моделей, підмоделей, компонентів і аналітичних варіантів, а також забезпечить чіткий зв'язок між варіантом розрахунку і результатами його розрахунку. Запропонована модель інтелектуальної інформаційної системи для створення цифрових двійників надасть можливість як для опрацювання величезного обсягу даних, так і для створення складних цифрових моделей в будівельних проєктах. Такий підхід дозволить систематизувати і розробити єдину інформаційну технологію для процесу інтеграції цифрових двійників окремих компонентів, об'єктів, систем і процесів на всіх етапах життєвого циклу будівельного проєкту.

Запропонована модель розробки та супроводу цифрового двійника будівельного проєкту має бути реалізована за допомогою стратегії системного проєктування на основі моделей, розроблених з використанням BIM-технології.

Для поглибленого застосування запропонованих ІТ в різні сфери життєдіяльності міста виникає потреба у розробці ІС "Розумне місто" (англ. Smart City) на основі CIM методології, що відповідає актуальним потребам розвитку міського середовища в цілому.

6.2. Компоненти CIM методології для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції BIM та GIS технологій

Для успішного застосування ІТ при розв'язанні містобудівних задач необхідно застосовувати картографування існуючого міського середовища, виконувати його злиття із передбачуваними проєктними розробками та здійснювати прогнозування того, як результат вплине на існуючі компоненти міської системи.

Задача ІТ – стати ефективним інструментом, який дозволить

раціоналізувати існуючі переваги ресурсів міста, що допоможе вирішити проблеми та виклики, пов'язані зі складністю міських систем. ІТ можуть надати багато альтернативних рішень для розв'язання даної проблеми та допомогти у прийнятті рішень, надавши вагомі докази, якщо прийнята містобудівна концепція працює для її реалізації.

ОПС населеного пункту дуже складна, і включає не тільки статичну модель навколишнього середовища, але й динамічні містобудівні об'єкти. В такій системі виробляється велика кількість інформації, яка є вражаючою, але корисною така інформація є в тій мірі, в якій вона може з користю використана для системи. В епоху інформаційного вибуху важливо відбирати якісні джерела даних для прийняття компетентних рішень. Для того, щоб ефективно витягати корисні дані з масивів інформації, слід спочатку упорядкувати цю інформацію.

Опрацювання робіт [166-168, 171, 182, 190] дає змогу запропонувати структуру даних СІМ моделі для функціонування міської системи на основі моделей, представлених на рис. 6.11.



Рис. 6.11. Структура даних СІМ моделі

Така структура даних має ґрунтуватися на основі компонентів СІМ

методології та інтеграції BIM та GIS технологій для упорядкування інформації про місто та міське середовище. Якщо досліджувати створення моделі даних CIM з точки зору життєвого циклу об'єкта будівництва, то на етапах проектування та будівництва доцільно використовувати BIM-технології, щоб "вбудувати" інформаційні дані в модель міста, а на етапах планування та експлуатації використовувати GIS-технології для пошуку і аналізу інформації. Така синергійна взаємодія буде сприяти адекватному відображенню міського середовища в ІС та зумовлювати її наповнення актуальними, достовірними і несуперечливими даними.

Типовий робочий процес обробки інформаційних даних автоматизованою системою за допомогою програмного забезпечення складається з типових процедур – збір, введення, зберігання, обробка, аналіз та отримання результату. Методологія CIM не так сильно відрізняється від такого типового процесу.

На рис. 6.12 надана узагальнююча схема основних компонентів CIM методології на основі процесу обробки інформаційних даних.

Первинні дані повинні бути зібрані про існуюче міське середовище в сучасній реальності. У цьому процесі можуть брати участь різні спеціалісти, тому важливо мати надійну платформу для зберігання даних, яка має служити загальним середовищем для обміну інформацією.

Геометрична 3D-модель має бути розроблена і пов'язана з семантичною інформацією про будівлі, споруди та інфраструктурні об'єкти, розподіленою на окремі категорії та упорядкованою за визначеною ієрархією. Бажано, щоб окремий тип моделі мав свій власний 3D-режим, подібний до BIM. Наприклад, підземна інженерна мережа матиме окрему BIM-модель, а будівля, до якої вона примикає свою BIM-модель. 3D-модель існуючої дороги можна автоматично отримати, використовуючи інструменти ГІС. Всі шари моделі мають бути налаштовані на єдину систему координат, завдяки цьому кожен фахівець може працювати самостійно, і під час робочого циклу на ранньому етапі розроблення

моделі під час верифікації можна виявити колізії та несумісність окремих компонентів різних моделей. Отримана модель має відповідати не лише вимогам на подання і сумісність даних, але також містити семантичну інформацію, необхідну для проведення просторового аналізу та опрацювання запитів.



Рис. 6.12. Компоненти CIM моделі на основі процесу обробки даних

Для вибраного набору правил можна здійснити автоматизацію, щоб отримати, наприклад, три найкращих рішення для порівняння. Нові проєктні пропозиції можуть бути надані на основі результатів просторового аналізу, а моніторинг і управління процесом впровадження цих пропозицій дає певний кінцевий результат. Результати нових міських змін можуть бути записані як нові дані, і процес, який описує CIM методологію, повторюється.

Однією з основних проблем CIM методології є інформаційне моделювання, яке потребує узгодженості як зовнішньої, так і внутрішньої інформації. Для вирішення цієї проблеми можна використати три можливих підходи:

1. Виміряти існуючі об'єкти, побудувати їх тривимірні моделі та

наповнити ці моделі атрибутивними даними. Це досить довгий і трудомісткий процес.

2. Поєднати CAD та GIS моделі певних об'єктів, але цей метод лиш частково зможе надати семантичну (атрибутивну) інформацію про об'єкти міста.

3. Отримати в достатньо повній мірі семантичну (атрибутивну) інформації про об'єкт з моделей BIM та отримати інформацію про зовнішні дані від моделей ГІС, які можуть поєднуватися з різними методами, такими як 3D-лазерне сканування та фотограмметрія.

Серед них третій підхід є найбільш здійсненним методом. Виникає потреба в автоматизованій інтеграції BIM та GIS технологій. Розробка уніфікованого стандарту CIM, який зможе використовуватися як GIS, так і BIM системами, є вкрай необхідною. Такий стандарт має стати основою інтегрованого інформаційного середовища загальних даних, який CIM методологія для окремого міста може адаптувати до власних інформаційних потреб.

На рис. 6.13 представлена загальна концепція інтеграції BIM та GIS даних для розробки уніфікованого CIM стандарту.

IFC є ключовим стандартом BIM для зберігання даних і для обміну цими даними з інформаційними моделями інших учасників BIM-процесів. IFC є об'єктно-орієнтованою моделлю даних. Ця структура нараховує близько 900 класів, з яких 70 класів мають подібне семантичне представлення до стандарту CityGML. Схема IFC є багаторівневою і модульною, розділена на чотири шари, кожен шар містить кілька модулів з багатьма класами. Структура IFC моделі даних детально описана і показана в роботі [168].

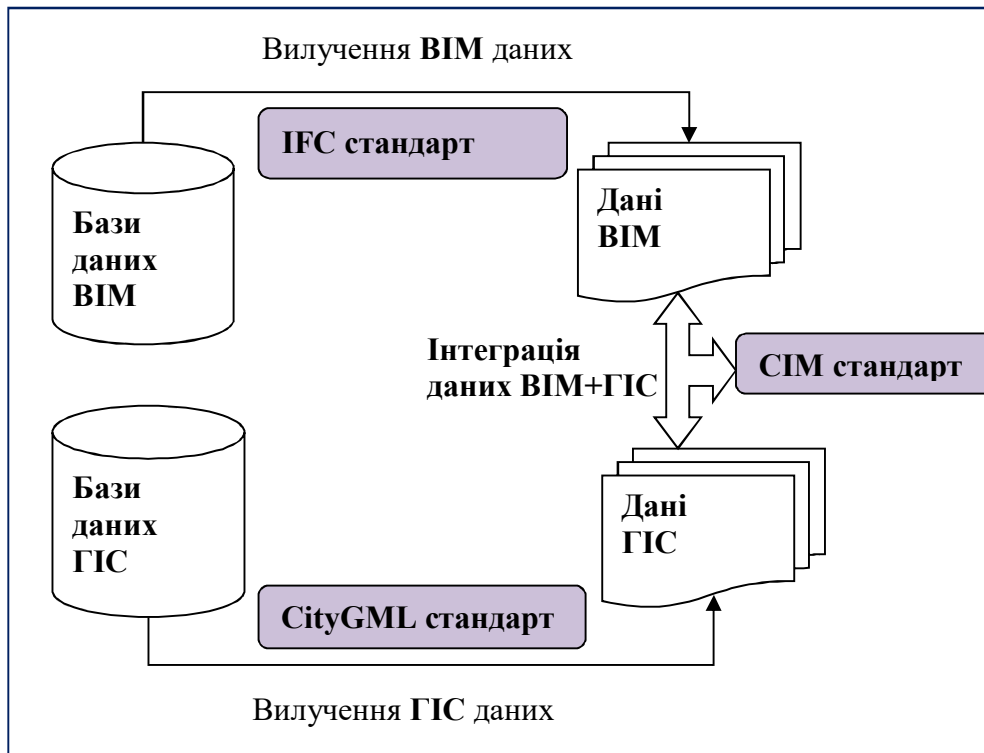


Рис. 6.13. Концепція розробки уніфікованого CIM стандарту

Взаємозв'язок між стандартами IFC та CityGML показано на рис. 6.14.



Рис. 6.14. Взаємозв'язок між стандартами IFC та CityGML

CityGML – це GIS стандарт для зберігання даних тривимірних моделей міст. Структура даних CityGML є модульною, це окремий файл, який складається з 12 модулів, 11 з яких є тематичними модулями, а перший (ядро) є основою інших модулів і визначає основний елемент моделі даних, як показано в табл. 6.1.

Стандарти IFC і CityGML мають власну класифікацію доменів і різні критерії щодо створення структур даних. CityGML містить набагато більше полів. Якщо безпосередньо конвертувати модель CityGML у модель IFC, то лише модуль Building буде зіставлений безпосередньо з модулем IFC, інші модулі CityGML будуть розглядаються як проксі-об'єкти і будуть недоступними до редагування в стандарті IFC.

Для того, щоб вирішити цю проблему, пропонується уніфікувати правило класифікації IFC і CityGML відповідно до функцій міста на основі п'яти моделей, представлених на рис. 6.11. Такий підхід пов'яже компоненти структур даних IFC і CityGML з 5 класами відповідно до моделі CIM.

Таблиця 6.1

Структура моделі даних CityGML

Номер модуля	Назва модуля (англ.)	Опис модуля
1	Core	Основна структура (ядро) моделі даних
2	Appearance	Забезпечення зовнішнього вигляду моделі
3	Building	Надання семантичного та просторового (геометричного) опису будівлі
4	CityFurniture	Опис міського благоустрою
5	CityObjectGroup	Визначення правила групування даних
6	Relief	Опис поверхневої моделі рельєфу міста
7	Transportation	Опис транспортної мережі міста
8	Vegetation	Опис рослинного покриву міста
9	WaterBody	Опис водної системи міста
10	TexturedSurface	Забезпечує властивості поверхонь 3D-моделей
11	LandUse	Опис землекористування
12	Generics	Розширення моделі даних CityGML, що дозволяє додавати нові властивості та елементи

На рис. 6.15. представлено взаємозв'язок між компонентами структур даних CIM і CityGML. Дев'ять модулів моделі даних CityGML, які можуть бути співставлені з 4 модулями моделі даних CIM. Наприклад модуль Building в CityGML може бути зіставлений з модулем "Моделі будівель" в CIM, а модуль Appearance може описувати зовнішній вигляд модулів "Моделі будівель",

"Транспортні моделі", "Моделі благоустрою" та "Моделі водних об'єктів", тому модуль Appearance слід розділити на чотири частини, щоб його можна було використовувати в моделі даних CIM. Крім того, з рис. 5 видно, що модуль CIM "Моделі інженерних комунікацій" не був зіставлений з жодним модулем CityGML, оскільки CityGML фокусується на поверхневій моделі міста і не залучає інформацію про інженерні мережі. Інформація цього модуля можна отримати із загального модуля або з даних IFC.

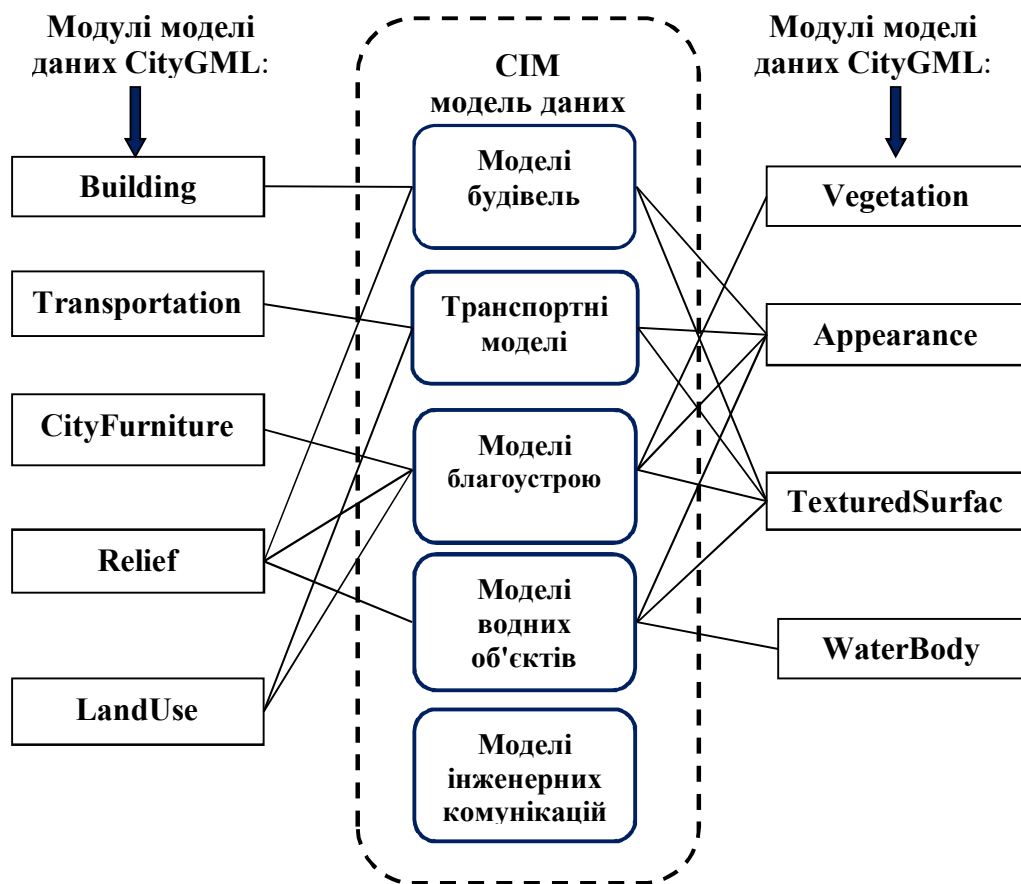


Рис.6.15. Взаємозв'язок між моделями даних CityGML і CIM

Модуль IFC також повинен бути зіставлений з модулем CIM. На рис. 6.16 представлено взаємозв'язок між компонентами структур даних CIM і IFC.

Інша проблема полягає в тому, що один і той же об'єкт має різне семантичне представлення в IFC та CityGML, що може призвести до помилок та втрати інформації. В табл. 6.2 наведено приклад з інтеграції структур даних CityGML і IFC для модуля "Модель будівлі" структури даних CIM, які мають подібне семантичне подання.

Оскільки моделі даних ГІС і BIM технологій досить сильно відрізняються одна від одної, кожна з них має особливості використання у своїй сфері, але для створення CIM стандарту обидві моделі мають бути інтегровані. Важливо уніфікувати критерій класифікації IFC та CityGML.

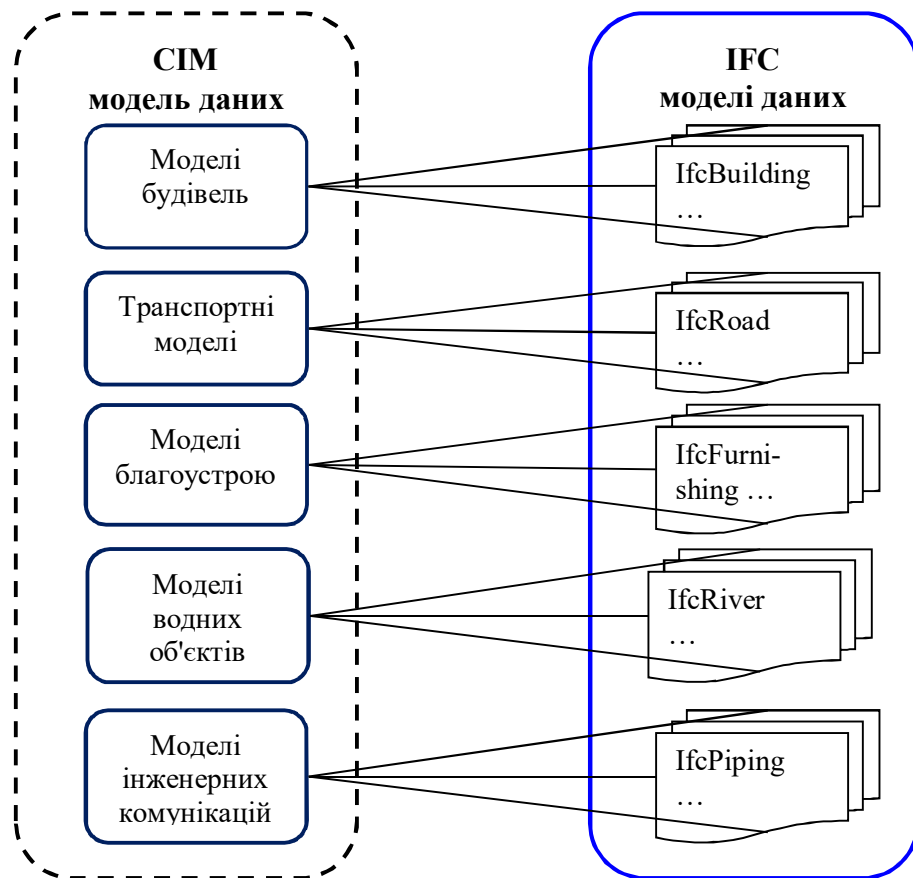


Рис. 6.16. Взаємозв'язок між моделями даних CIM і IFC

Таблиця 6.2

Компоненти моделей даних CityGML і IFC для модуля "Модель будівлі" моделі даних CIM

СІМ модель даних	CityGML моделі даних	IFC моделі даних
Модель будівлі	Building	IfcBuilding
	WallSurface	IfcWall
	FloorSurface	IfcSlab
	RoofSurface	IfcRoof
	Room	IfcSpace
	Annotation	IfcAnnotation
	Address	BuildingAddress

6.3. Цифрова трансформація будівельного проекту

В професійному просторі будівельної галузі сформувався нагальний запит і існує гостра необхідність в єдиному системному підході до галузевих технологій цифрового моделювання і в розробці відповідних державних стандартів. Розробка технічної та нормативної документації в галузі інформаційного моделювання об'єктів капітального будівництва і досі здійснюється безсистемно і розрізнено. Єдина концепція стандартизації даних досі не сформована. Єдиних напрямків та етапів вирішення практичних завдань інформатизації будівельної галузі і досі не існує. Відсутні спеціалізовані інтегровані рішення. Подальша цифрова трансформація будівельної галузі вимагає розв'язання проблемних завдань (рис.6.17).

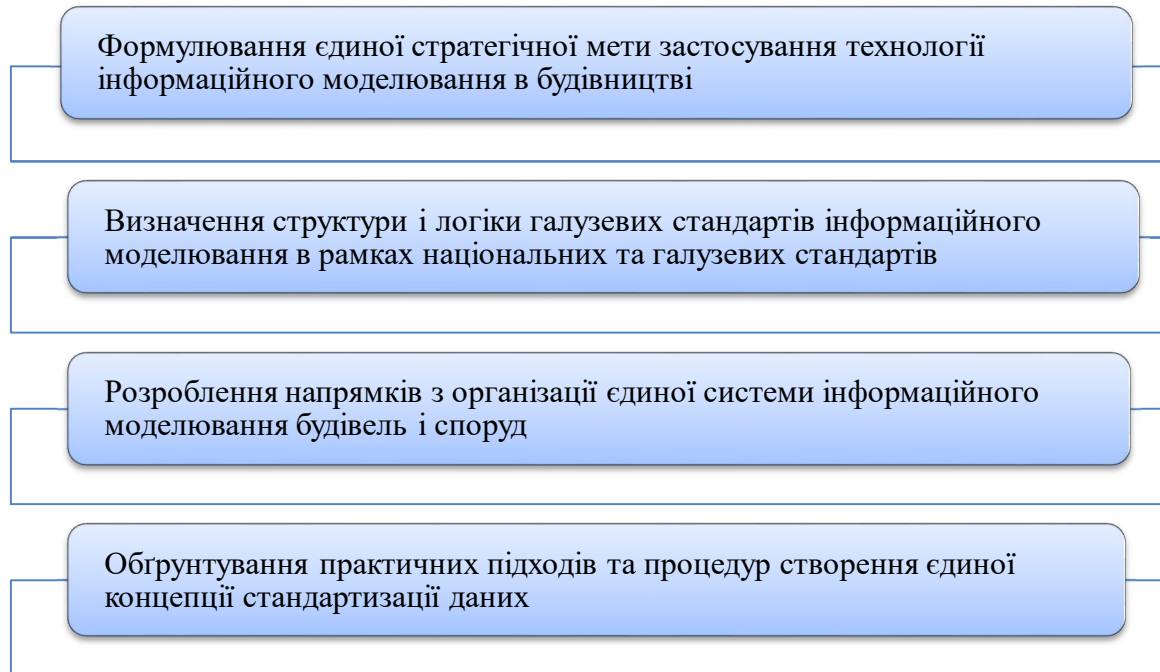


Рис.6.17. Невирішені завдання цифрової трансформації будівельної галузі

Консолідація накопиченого практичного досвіду та професійної компетенції дають змогу автору запропонувати системотехнічну схему цифрового моделювання будівельного проєкту в термінах агрегування сутностей (рис.6.18), яка уможливить визначити доцільність (або недоцільність) застосування BIM-технології в проєктну діяльність будівельної організації. На представленій логіко-семантичній схемі в парадигмі кібернетики проблемно-орієнтованого моделювання абстрактно виділяються основні суб'єктно-об'єктні та об'єктно-суб'єктні горизонтальні зв'язки складових елементів, кожна пара яких визначається відповідністю власного рівня цифрового моделювання.

В системотехнічній схемі цифрового моделювання виділяються сім рівнів, які відповідають шести рівням агрегування сутностей в термінах відношень суб'єкт-об'єкт (об'єкт-суб'єкт): "план-мета", "об'єкт-проєкт", "процес-час", "технологія-економіка", "система-ресурс", "комплекс-конвергенція".

На першому (I) рівні цифрового моделювання формалізуються суб'єктно-об'єктні відношення (верхній рядок схеми 6.18) у простому форматі, який

встановлює пряму відповідність між набором планів і набором цілей. Зворотній об'єктно-суб'єктний зв'язок передбачає вплив цілей на плани для їх реалізації, а умовно симетричний суб'єктно-об'єктний зв'язок (нижній рядок схеми на рис. 6.18) змінює схему пріоритету на протилежну — набір цілей асоціюється з набором планів. Для концептуальної загальної логіки схеми представлена системна технологія цифрового моделювання встановлює умовно пряму відповідність рівнів цифрового моделювання рівням деталізації BIM. Отже, перший рівень цифрового моделювання відповідає першому рівню BIM 1D.

На другому (II) і третьому (III) рівнях проєкт ПП формалізує двовимірну і тривимірну моделі ОПП відповідно. Зворотній об'єктно-суб'єктний зв'язок передбачає вплив набору умов проєктування та обмежень на сам об'єкт, а традиційно симетричний суб'єктно-об'єктний зв'язок змінює схему пріоритету відповідності на протилежну, коли об'єкт створюється на основі пріоритету проєктування, встановленого з будь-якої причини (наприклад, з використанням типового проєкту).

Слід зазначити, що сутність взаємозв'язку "об'єкт-проєкт" другого (II) і третього (III) рівнів цифрового моделювання не обмежується дво- і тривимірною візуалізацією об'єкта, а є основою для автоматизації розробки варіантів проєктів планувальних рішень та параметризації проєкту. Другий (II) і третій (III) рівні цифрового моделювання визначаються другим (2D) і третім (3D) рівнями деталізації BIM відповідно.

На четвертому (IV) рівні процес, який визначає певну роботу, формалізується з необхідним терміном для її виконання. Зворотна об'єктно-суб'єктна комунікація передбачає вплив часових обмежень на розглянуті процеси, а умовно симетрична суб'єктно-об'єктна комунікація змінює схему пріоритету відповідності на протилежну, коли набір процесів формується виходячи з умов і часових обмежень (наприклад, фіксованих термінів введення в експлуатацію критичних для об'єкта інфраструктури). Суть "процесу" в схемі

зводиться до їх вичерпного формулювання конкретного набору завдань (виробничих, організаційних, управлінських процесів тощо). Четвертий (IV) рівень цифрового моделювання відповідає четвертому (4D) рівню BIM виміру.

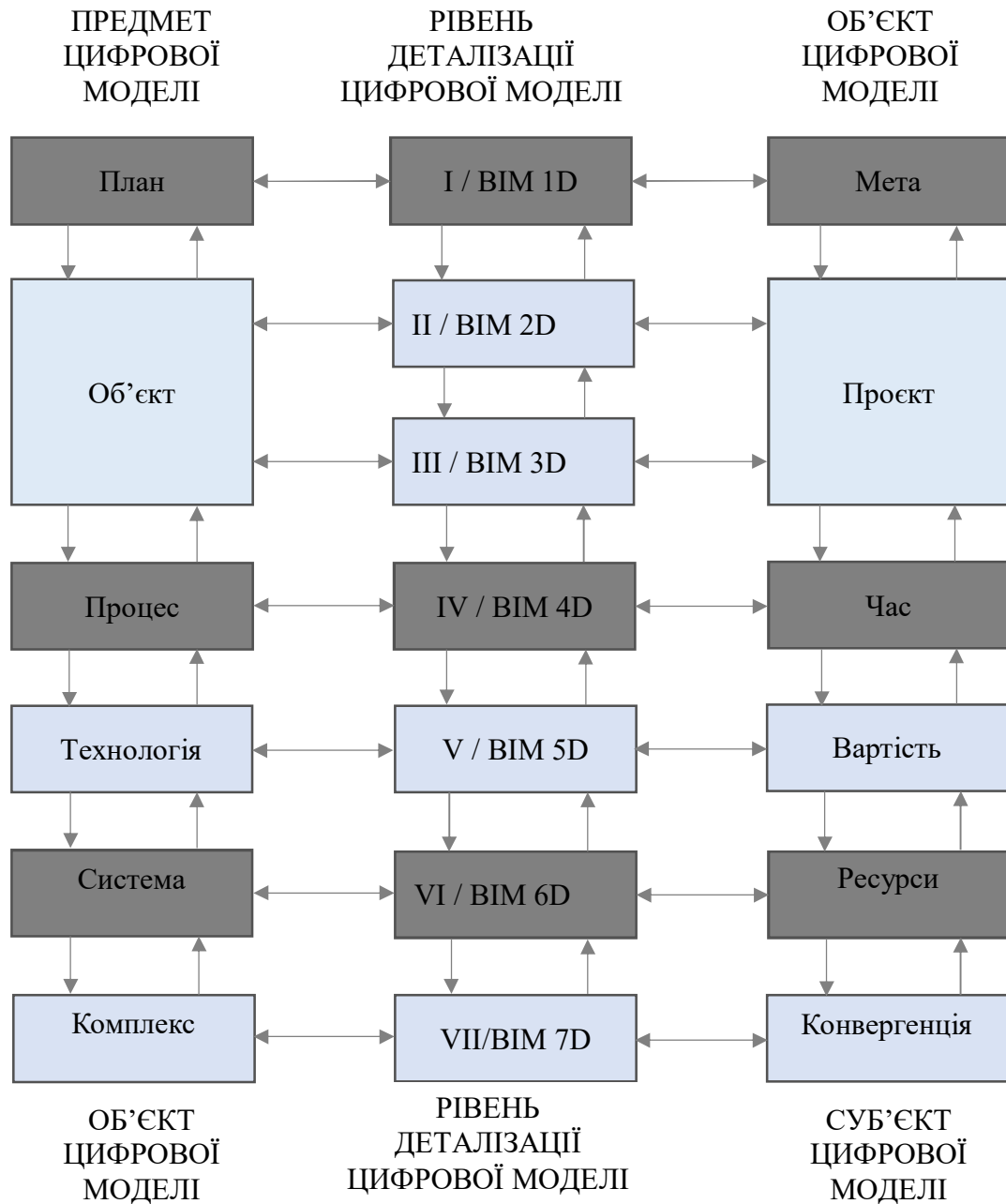


Рис. 6.18. Системотехнічна схема цифрового моделювання будівельного проекту в термінах агрегування сутностей

На п'ятому (V) рівні технології формалізуються шляхом оцінки вартості їх застосування. Зворотна об'єктно-суб'єктна комунікація передбачає прямий вплив економічних умов і обмежень на використовувані технології, а умовно симетрична суб'єктно-об'єктна комунікація змінює схему пріоритету відповідності на протилежну, коли технологічні схеми формуються виходячи з фінансових умов і обмежень (наприклад, з наявності технологічного обладнання або фінансових ресурсів). П'ятий (V) рівень цифрового моделювання визначається як п'ятий (5D) рівень BIM-виміру.

На шостому (VI) рівні розглянуті об'єкти, процеси і технології як складові компоненти будівельної системи, що формалізуються шляхом агрегування всіх видів ресурсного забезпечення, представлених на попередніх рівнях цифрового моделювання економіки та часу. Зворотній об'єктно-суб'єктний зв'язок передбачає вплив ресурсних умов і обмежень на розглянуті системи, а умовно симетричний суб'єктно-об'єктний зв'язок змінює схему пріоритету відповідності на протилежну, коли сама система побудови формується виходячи з умов і ресурсних обмежень (наприклад, побудова в умовах недопостачання будівельних матеріалів або нестачі кваліфікованого персоналу). Сутність "системи" в схемі відповідає визначенню "будівельної системи" як кінцевого набору функціональних компонентів (елементів, об'єктів, процесів) і взаємозв'язків між ними, розподілених відповідно до конкретної мети протягом певного часового інтервалу. Сутність "ресурсів" зводиться до їх вичерпного формулювання для конкретного набору завдань (матеріальних, технічних, трудових, організаційних та ін.). Шостий (VI) рівень цифрового моделювання відповідає шостому (6D) рівню BIM-виміру.

На сьомому (VII) рівні будівельні системи об'єднуються в комплекси, які додатково включають в себе якісно різні системи (наприклад, міську та біосферну) і являють собою об'єкт цифрового моделювання нового класу з точки зору конвергенції. Зворотній об'єктно-суб'єктний зв'язок передбачає

вплив, якісно різних по відношенню до будівлі, систем на комплекси, в яких вони розглядаються, а умовно симетричний суб'єктно-об'єктний зв'язок змінює схему пріоритету відповідності на протилежну, коли якісно різні по відношенню до будівлі системи істотно впливають на комплекси систем будівель, незалежно від їх розташування по відношенню до розглянутого комплексу (наприклад, вплив геополітичної ситуації на хід залежних від неї будівельних проєктів). Сьомий (VII) рівень цифрового моделювання визначається розширеним сьомим (7D) рівнем деталізації BIM, який передбачає подальшу абстракцію будь-якого наступного рівня цифрового моделювання якісної конвергенції компонентів систем різних властивостей.

Описаний підхід до побудови суб'єктно-об'єктних і об'єктно-суб'єктних прямих і зворотних зв'язків на рівні моделі дає змогу правильно зрозуміти сутність і переглянути акценти в багатьох цілком практичних областях інноваційного розвитку і регулювання будівельної галузі. Фактично, необхідно переосмислити звичайні етапи реалізації будівельного проєкту. Зокрема, етап "проєктування", який зазвичай закінчується отриманням проєктної документації, завершиться створенням цифрового двійника майбутнього об'єкта нерухомості, який був перевірений на наявність колізій та інших невідповідностей, підкріплений відповідною бібліотекою цифрових елементів, необхідних для реалізації проєкту, що містить повну інформацію про всі види будівельних матеріалів, конструкцій та інженерного обладнання. Саме цей прототип будівельного проєкту є цифровою інформаційною моделлю BIM. У той же час цифрова модель будівельного об'єкта може включати в себе всю вичерпну інформацію, необхідну не тільки для будівництва, але і для експлуатації, модернізації та реконструкції (ліквідації) об'єкта.

Поява нових і трансформація старих обов'язків неминучі, коли будівельна компанія переходить на BIM-управління. На рис. 6.19 представлена модель організаційних перетворень в системі управління проєктами, коли BIM-

технології впроваджуються в будівельні проекти. Рекомендації для керівників проектів з моніторингу реалізації проекту розроблені з використанням BIM-логіки у зв'язку з активним розвитком використання інформаційних технологій та інформації про об'єкт протягом усього життєвого циклу за рахунок використання BIM-моделей.

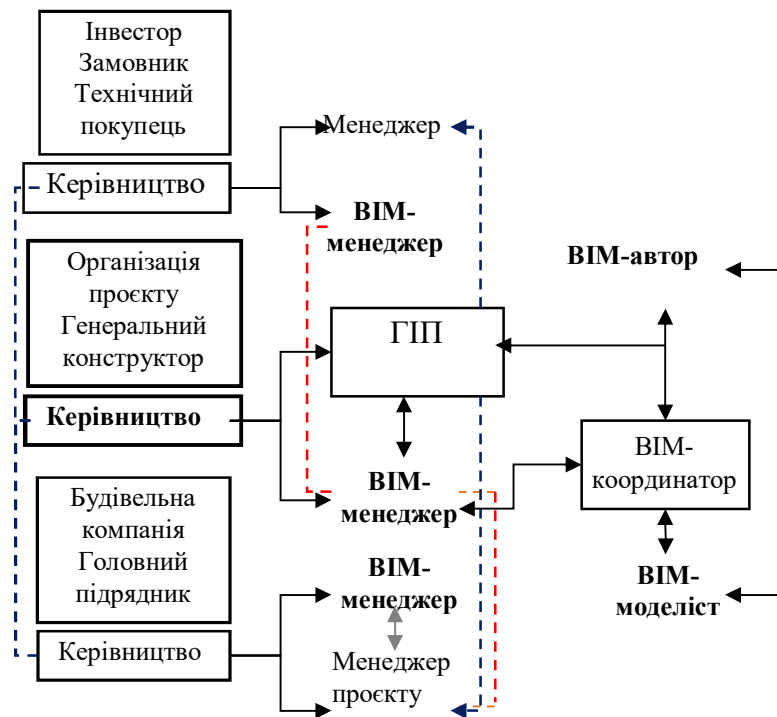


Рис. 6.19. Модель організаційних трансформацій в системі УП при впровадженні BIM-технологій в будівельні проекти

На рис. 6.20 представлена модель BIM команди управління проектом. Перед початком проекту команда виконавців визначає загальну стратегію розробки моделі, після чого BIM-менеджер готує файл проекту для спільної роботи на основі створеного шаблону. Саме BIM-менеджер "запускає" проект на виконання. Потім інші учасники підключаються до нього, створюючи свої локальні копії, пов'язані синхронізацією в ЄІС.

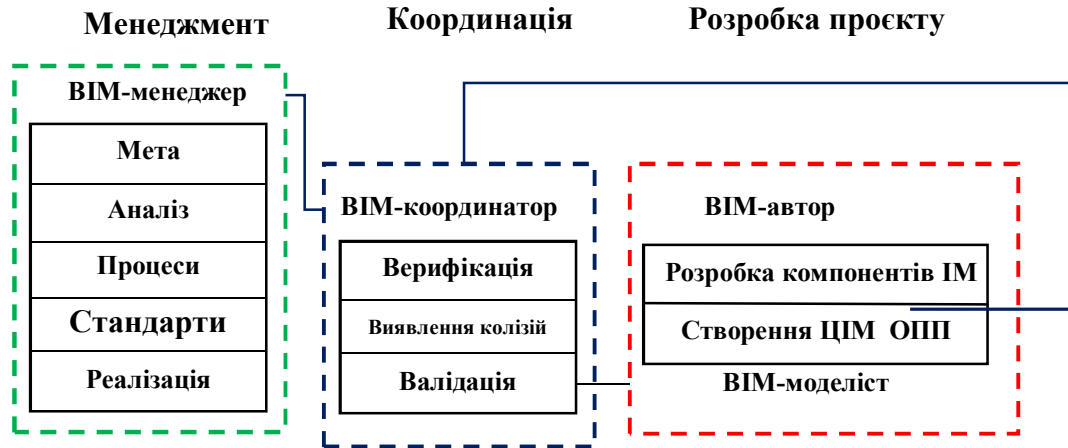


Рис.6.20.Модель ВІМ команди управління проєктами

ВІМ-моделіст. Цей фахівець створює бібліотеки компонентів і за потребою відтворює дані з 2D-креслень в 3D-модель. Цей фахівець не вирішує інженерних завдань, а несе відповідальність за створення компонентів, які наповнюють інформаційну модель. Слід зазначити, що ці функції можуть виконуватися як ВІМ-автором, так і ВІМ-координатором паралельно з основними обов'язками.

ВІМ-автор. Цей фахівець розробляє проєкт, підтримує модель, забезпечує технічну координацію, виконує інженерні функції проєктувальника за допомогою ВІМ-програмного забезпечення і підтримує ВІМ-концепцію. Кваліфікація ВІМ-автора в роботі з програмним забезпеченням повинна відповідати його інженерній компетентності і складності дорученої йому проєктної роботи. Мінімальним кваліфікаційним порогом для ВІМ автора є базове знання програмного забезпечення, в якому він буде працювати, розуміння принципів спільної роботи в ЄІС і знання стандарту ВІМ.

ВІМ-координатор. Цей фахівець розробляє ВІМ-план верифікації та валідації проєкту, проводить регулярні аудити інформаційної моделі і перевіряє її на наявність колізій. Це людина, відповідальна за процес інформаційного

моделювання в BIM-проекті. BIM-координатор не приймає і не погоджує проєктні рішення.

BIM-менеджер. Цей фахівець займається розробкою стратегії управління BIM-процесами, внутрішніми регламентами, методами навчання, планом виконання BIM і аудитом інформаційної моделі. Якщо ролі BIM-автора і BIM-координатора притаманні тільки проєктним організаціям, то BIM-менеджер має взаємодіяти зі службами технічного замовника і генерального підрядника будівництва. Обов'язки BIM-менеджера в проєктній організації відрізняються від обов'язків BIM-менеджера в службі технічної підтримки клієнтів і BIM-менеджера в будівельній компанії.

Типовий робочий процес обробки інформації автоматизованою системою з використанням програмного забезпечення складається з типових процедур: збору, введення, зберігання, обробки, аналізу та отримання результату. На рис. 6.21 показана узагальнена схема інформаційного середовища для розробки цифрового двійника міського об'єкта, заснована на життєвому циклі проєкта будівництва.

Протестуємо проведене дослідження цільового району міста з використанням програмних продуктів Autodesk: Vault, Revit і Navisworks. Джерелами даних є чотири вхідні файли, які розміщені у єдиному інформаційному середовищі:

1. У першому файлі представлені базові просторові дані про координати досліджуваної території.
2. Інші три файли містять тематичні просторові дані про об'єкти містобудівної діяльності, які впливають на планувальні рішення будівельного проєкту.

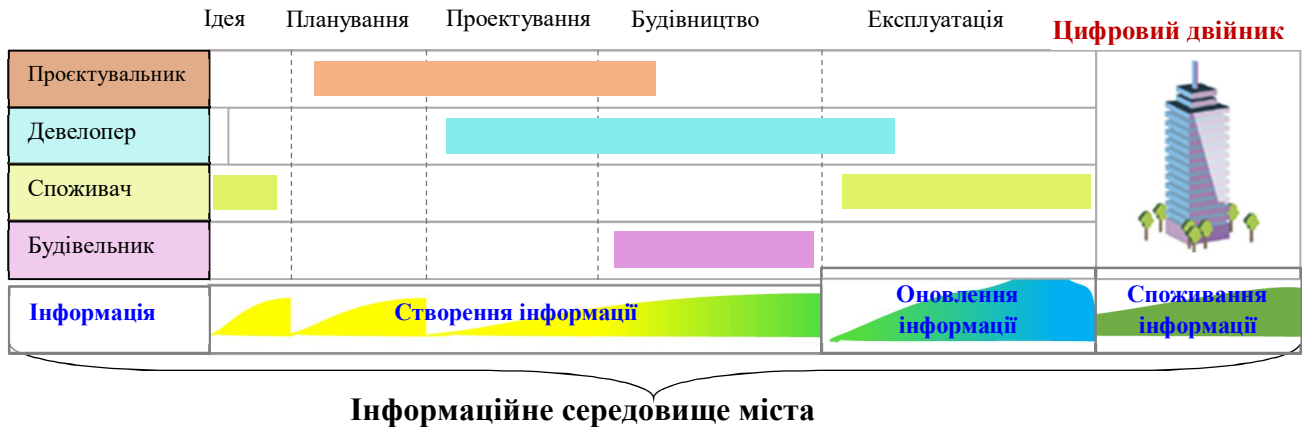


Рис.6.21.Концепція єдиного інформаційного середовища для Digital Twin на основі життєвого циклу проєкта будівництва

На рис. 6.22 показаний міський цифровий двійник будівлі, змодельований в ПЗ Autodesk Revit.



Рис. 6.22.Цифровий двійник міської будівлі

Рис. 6.23 являє собою частину картографічного плану досліджуваної території, на якому подана інформація про межі моделювання міської забудови.



Рис.6.23. Межі моделювання міської території

На рис.6.24 представлені цифрові моделі ОПП міських об'єктів рівня деталізації LOD100 з прив'язкою до цифрової моделі місцевості.

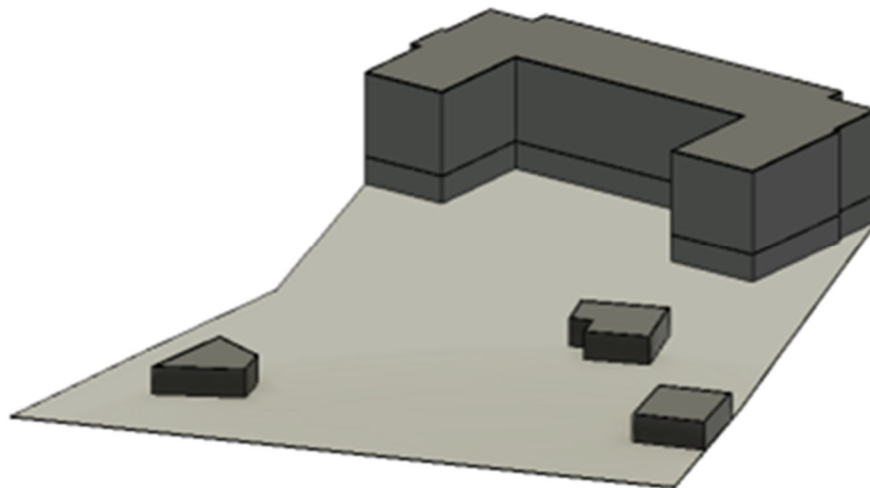


Рис. 6.24. Розташування ЦІМ ОПП

Рис.6.25 демонструє ескіз цифрового плану території з ЦІМ ОПП рівня деталізації LOD200.

На рис. 6.26 показано цифровий двійник забудованої міської території у

вигляді файлу Autodesk Navisworks.

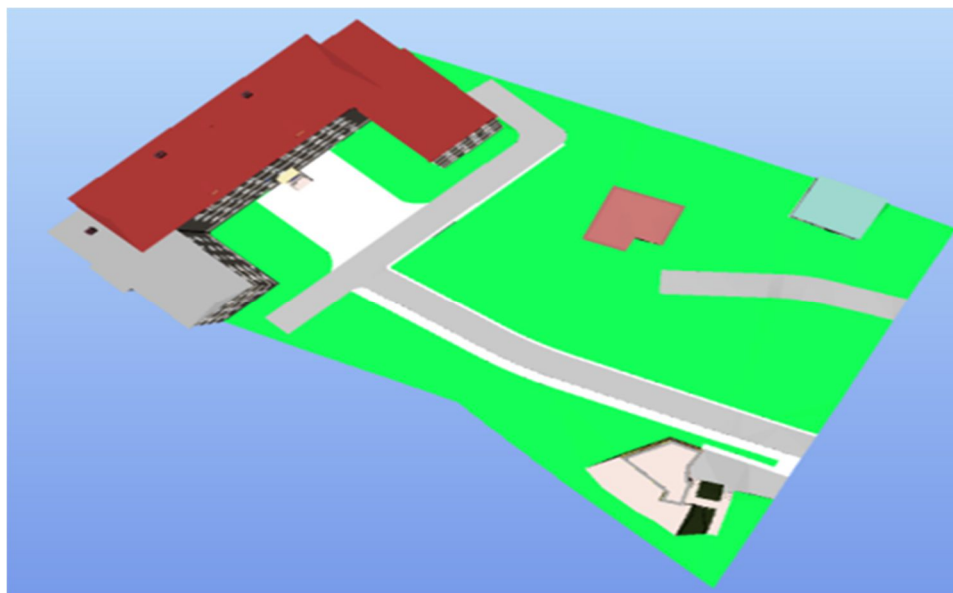


Рис. 6.25. Цифровий план території міста

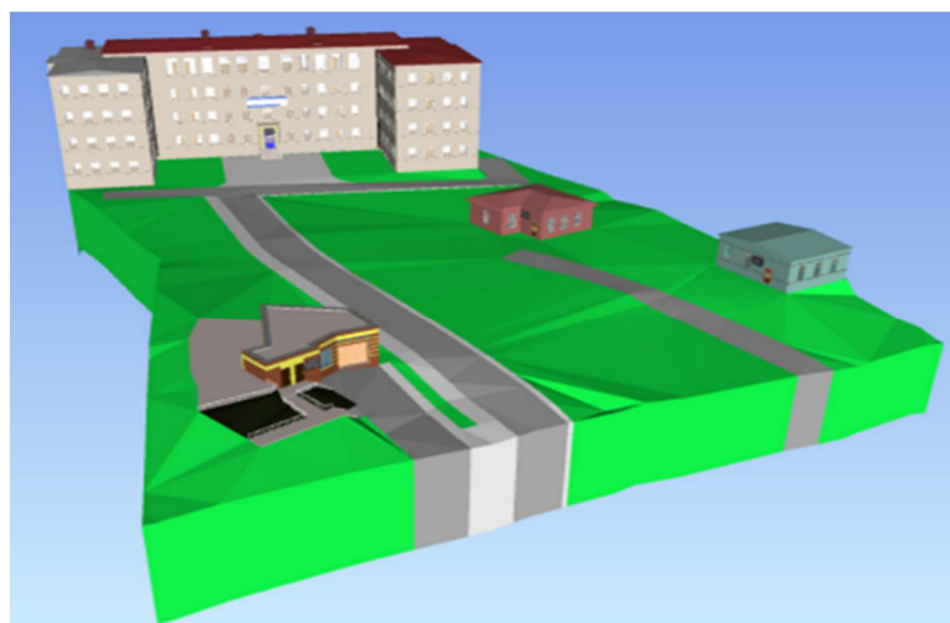


Рис. 6.26. Цифровий двійник забудованої міської території

Експериментальна апробація підтверджує, що цифрова модель міської

забудови, відповідає реальному аналогу, з рівнем деталізації LOD200. Такий цифровий двійник сприятиме вдосконаленню процесу прийняття рішень для ефективного визначення меж існуючих об'єктів нерухомості та зон просторового планування міської території, що в свою чергу, може бути використане при створенні ІС «Розумне місто». Такі моделі також можуть бути використані для створення цифрових аналогів реальних фізичних активів, допомагаючи моделювати будь-які зміни, які можуть вплинути на ці активи. Крім того, цифрові двійники можуть бути використані для аналізу та управління очікуваними ризиками від можливих аварійних ситуацій, щоб уникнути їх або максимально пом'якшити їх наслідки.

6.4. Оцінка ефективності визначення потенціалу розвитку міських територій в проєктах генерального планування комплексної житлової забудови

Для обґрунтування вибору земельних ділянок з метою залучення в інвестиційну діяльність міських територій та оцінки їх прихованого потенціалу пропонуються для використання такі методи:

- 1) комплексної оцінки комфортності міських територій,
- 2) оцінки прибутковості інвестицій в підвищенні рівня комфортності міських територій,
- 3) інтегральної оцінки прихованого потенціалу міських територій.

Оцінка комфортності міських територій проводиться з використанням нормативно-факторного підходу. Вихідні дані, що мають кількісну оцінку, нормуються щодо показників спеціально сформованого шаблону нормативної умовно-комфортної ділянки міської території і використовуються далі в вигляді відносних величин (індексів).

Нормативна модель ділянки (мікрорайону) комплексної міської забудови розроблена на основі цільових і розрахункових показників генплану розвитку

міста має містити інформаційні дані:

- типології, висотності і щільності міської забудови;
- встановленого показника загальної площі;
- необхідної кількості об'єктів соціальної інфраструктури (місць в дитячих садочках, закладах середньої загальної освіти та ін.), транспортної інфраструктури (паркувальних місць) та інших показників у розрахунку на 1000 жителів.

Для зручності сприйняття отриманих оцінок всі значення зведені до єдиної 10-бальної шкали. За результатами статистичного аналізу апріорних даних відібрані 10 факторів, що відіграють основну роль у формуванні синтезованого інтегрального індикатора:

- щільність житлової забудови;
- середня поверховість забудови;
- частина сучасної забудови з урахуванням типології;
- частина зелених насаджень;
- площа непридатних земель;
- естетичне сприйняття забудови;
- забезпеченість місцями в дитячих виховних закладах та школах;
- кількість наземних паркувальних місць для автомобілів;
- забезпеченість магазинами в кроковій доступності;
- віддаленість від небезпечних зон.

Оскільки факторний аналіз апріорних даних проведено в термінах головних компонентів [5], представимо їх значення у вигляді:

$$F_p = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ip}}{\lambda_p} x_j, \quad p = 1, \quad m, \quad (6.1)$$

де F_p – головні компоненти (вектор стовпці); a_{jp} – коефіцієнти при загальних факторах; λ_p – власні значення; x_j – вихідні дані (вектор стовпці).

Підсумкові результати синтетичного інтегрального індикатора якості міських територій для кожного i -го мікрорайону розраховують за значеннями блокових індикаторів $y_{j(p)}$. Для цього обчислюють зважене евклідової відстані p_{CBj} від i -го мікрорайону $y_{j(p)}$ до еталону в просторі базових синтетичних категорій:

$$p_{CBj} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i (y_{j(p)} - 10)^2}, \quad (6.2)$$

де S_1, \dots, S_r – нормовані вагові коефіцієнти, які визначаються пропорційно-вибірковою дисперсією S_p^2 блокових індикаторів:

$$S_p^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{j(p)} - \bar{x}_p)^2. \quad (6.3)$$

Значення єдиного зведеного інтегрального індикатора якості житлової міської території для i -го мікрорайону у вигляді індексу y_{CBj} можна знайти за формулою:

$$y_{CBj} = 10 - p_{CBj}, \quad (6.4)$$

Зведені інтегральні індикатори оцінки комфортності житлової міської забудови визначені за двома групами: якість міської забудови і комплексність міської забудови. На їх основі, аналогічно наведеній процедурі, визначено синтетичний інтегральний індикатор – рівень якості житлової міської території (РЯЖМТ).

Ієрархічна схема вихідних показників, приватних критеріїв та інтегральних індикаторів, що ілюструє структуру побудови синтетичного інтегрального індикатора РЯЖМТ, показана на рис. 6.27.

Розроблений метод інтегральної оцінки прихованого потенціалу розвитку міських територій базується на принципі диференціації стратегії розвитку міської забудови стосовно кожного мікрорайону (дільниці комплексної житлової забудови) відповідно до інтегральної оцінки досягнутого рівня якості житлової міської забудови та комфортності проживання.

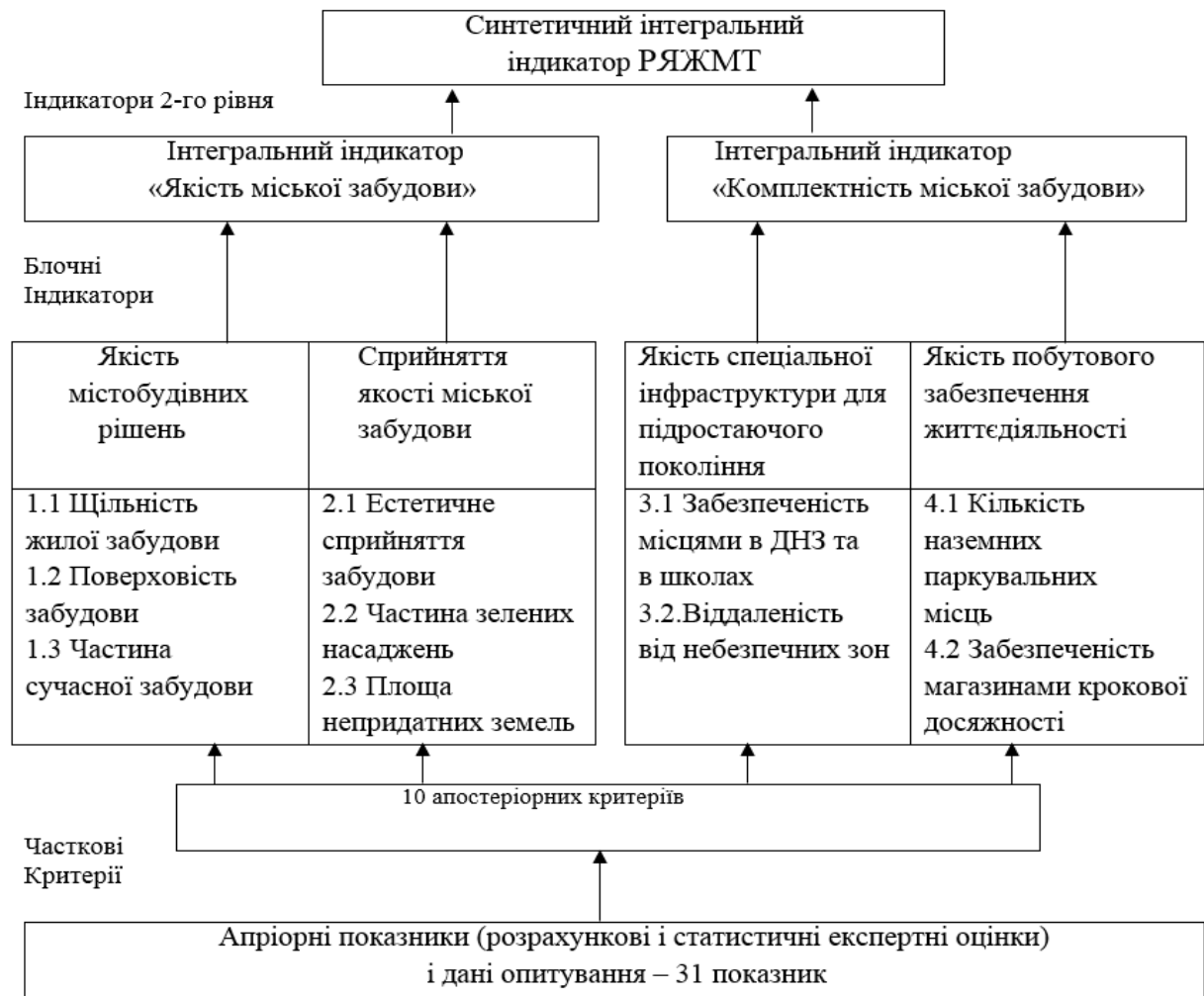


Рис. 6.27 – Аналітична модель формування синтетичного інтегрального індикатора РЯЖМТ

Пропонований метод включає в себе оцінку:

- комфортності ділянок міської території житлової забудови і нормування міської території за синтетичним інтегральним індикатором РЯЖМТ;
- динаміки якості житлової міської території відповідно до передбачених генпланом етапів;
- інфраструктурного потенціалу розвитку житлових міських територій;

– прихованого інвестиційного потенціалу відповідно до планованих заходів з розвитку житлових міських територій.

Оцінювання інфраструктурного потенціалу розвитку житлових міських територій проводиться шляхом розрахунку доходу від реалізації інвестиційного проєкту, відповідного найбільш ефективному використанню земельної ділянки, методом дисконтування грошових потоків, який дає змогу оцінити інвестиційний об'єкт на основі поточної вартості доходу, що складається з прогнозованих грошових потоків.

Оцінкою прихованого інвестиційного потенціалу розвитку міських територій є розрахунок додаткових доходів інвестора за рахунок приросту ринкової вартості житла і комерційної інфраструктури в результаті збільшення рівня комфортності при реалізації ефективних проєктів розвитку міських територій на основі спеціально побудованих математичних моделей. Інтегральне оцінювання прихованого інвестиційного потенціалу ділянок житлової міської забудови виконують відповідно до моделей, отриманих в результаті кореляційно-регресійного аналізу залежностей ринкової вартості 1 м² загальної площі житла і комерційної нерухомості від величини інтегрального індикатора оцінки якості РЯЖМТ, транспортної віддаленості ділянки міської забудови від центру міста.

Для кожного міста можуть бути отримані однотипні регресивні моделі, що характеризуються коефіцієнтами і статистичними оцінками комфортності. Як приклад наведемо результати, розраховані автором статті за даними м. Києва. Залежність середньозваженої вартості 1 м² загальної площі житла від показників РЯЖМТ і периферійності ділянки житлової забудови визначали за формулою:

$$C_{\text{розрах}} = 40896,66 - 3027,50X_1 - 676,59X_2, \quad (6.5)$$

де X_1 і X_2 – показники інтегрального індикатора РЯЖМТ і периферійності

ділянки житлової забудови.

Для оцінки прихованого інвестиційного потенціалу ділянки житлової міської забудови $P_{\text{інв}}$ необхідно скористатися регресійними залежностями для оцінки ринкової вартості 1 м^2 житла:

$$P_{\text{інв}} = (C_{\text{розрах}} - C_{\text{факт}}) K_{\text{в}} V_{\text{ж}}, \quad (6.6)$$

де $C_{\text{розрах}}$ і $C_{\text{факт}}$ – відповідно розрахункова (за моделлю) і фактична вартість 1 м^2 загальної площі житла (різниця визначає величину очікуваного приросту вартості), грн; $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що враховує імовірнісний характер вартісної оцінки, що приймається згідно з ймовірнісною значущістю моделі; $V_{\text{ж}}$ – планований до будівництва обсяг загальної площі житла, тис. м^2 .

Розрахункова величина прихованого потенціалу виступає в якості вихідних даних для планування інвестиційно-будівельних заходів щодо розвитку міських територій та підвищення їхньої комфортності. Принципова блок-схема алгоритму обліку прихованого потенціалу при формуванні інвестиційних проєктів освоєння і розвитку житлових міських територій наведена на рис. 6.28.

На основі аналізу проблем використання територій для забудови в місті та сформованого переліку земельних ділянок, що втягуються в інвестиційну діяльність, а також результатів оцінки прихованого потенціалу міських територій та ефективності їх залучення в інвестиційні проєкти розробляють інвестиційну програму розвитку міських територій.

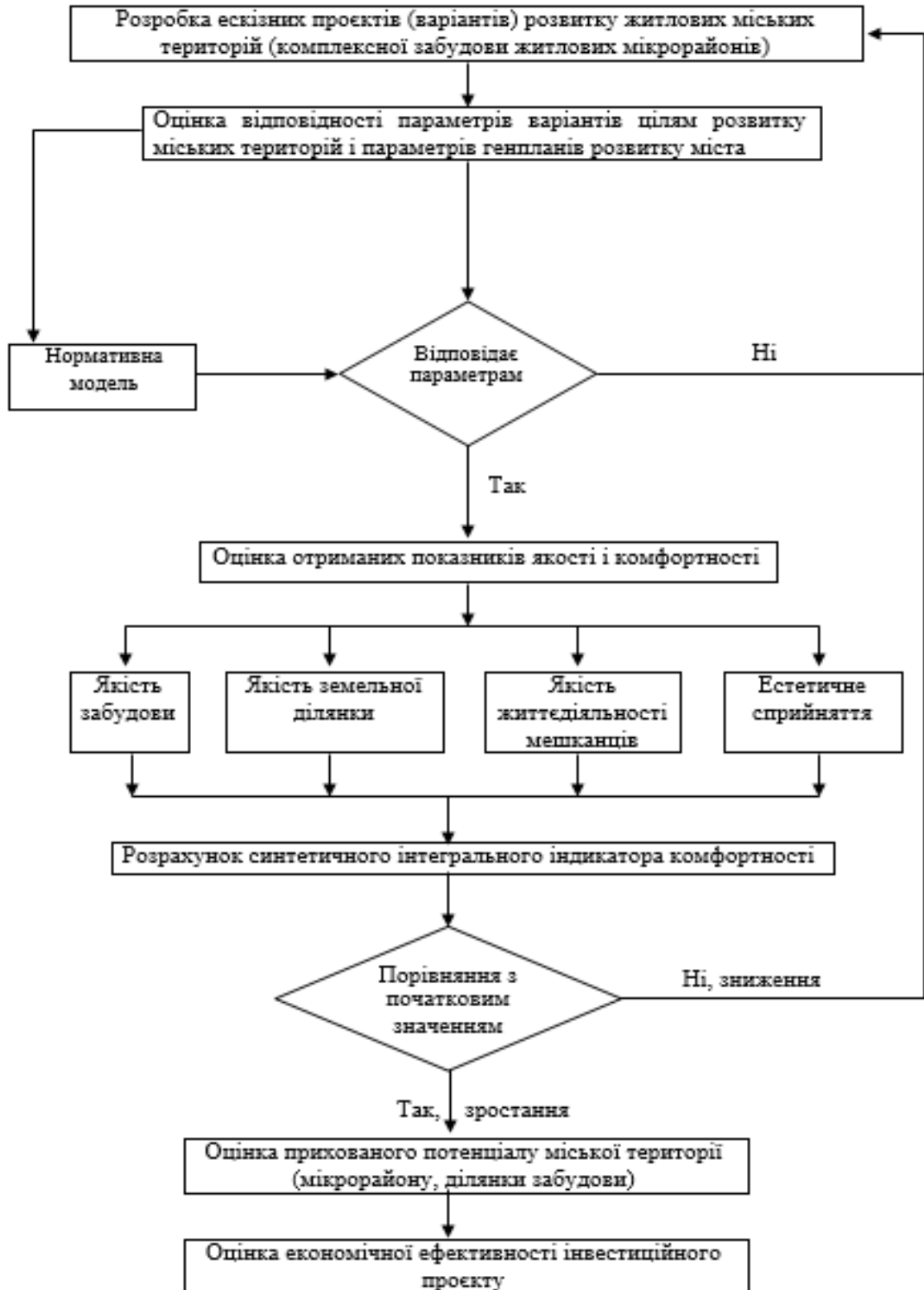


Рис. 6.28. Блок-схема алгоритму обліку прихованого потенціалу міських територій

В табл. 6.3 представлена матриця оцінювання альтернатив проекту за локальними критеріями. В табл. 6.4 представлені зміст та вимір локальних критеріїв q.

Таблиця 6.3

Матриця оцінювання альтернатив проекту за локальними критеріями.

Порядковий номер критерію, q	Порядковий номер альтернатив проекту, m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	90	92	89	87	91	94	89	88
2	14,2	13,9	13,2	13,4	14,8	15,1	15,6	13,9
3	0,88	0,74	0,68	0,81	0,91	0,97	0,69	0,72
4	1,14	1,051	1,054	1,068	1,032	1,041	1,182	1,197
5	1,13339	1,0449	1,04789	1,06181	1,02601	1,03496	1,17514	1,19006
6	794	942	956	887	912	927	754	816
7	82,7348	98,1564	99,6152	92,4254	95,0304	96,5934	78,5668	85,0272
8	90,9466	93,5099	95,0479	77,3097	83,6668	81,411	96,5859	98,0214
9	2,04	5,13	4,46	9,07	8,04	13,11	3,77	1,62
10	87,12	77,16	79,12	84,12	89,27	94,27	91,63	86,22

Завершальні модулі комплексу прикладних програм здійснюють підсумкову оцінку рішень проекту забудови та територіального відновлення за інтегральним критерієм (рис. 6.29).



Рис. 6.29. Бально-семантична шкала оцінювання проектних рішень за критеріями проектних рішень за окремими критеріями.

Таблиця 6.4

Матриця змісту та вимірів локальних критеріїв

q=	Зміст локального критерію	Вимір локального критерію
1	Відповідність просторових (геоінформаційних) координат первинним сукупним вимогам всіх інституційних учасників проєкту	Бально-семантична шкала
2	Загальна тривалість циклу проєкту підготовка, будівництво, ревіталізація	міс.
3	Відповідність європейським вимогам щодо еко-ощадного будівництва та екологічної рівноваги, індекс міри виконання вимог після ревіталізації	max=1
4	Індекс відношення фактичних витрат до первинної кошторисної вартості за розділом "Основні об'єкти будівництва"	індекс
5	Відношення фактичної вартості до первинно обґрунтованої вартості еко-відновлення (ревіталізації) на 1 га території	індекс
6	Кількість додатково створених робочих місць, (середньорічна кількість щодо виміру в роках тривалості життєвого циклу проєкту);	Од.
7	Міра задоволення інтересів місцевих територіальних громад функціональними підсумками проєкту	Бально-семантична шкала
8	Міра задоволення інтересів місцевих територіальних громад екологічними підсумками проєкту	Бально-семантична шкала
9	Скорочення адміністративно-управлінських витрат проєкту за рахунок впровадження сучасних ІТ та створення єдиного інформаційного середовища проєктування, підготовки та адміністрування проєктом	% щодо первинного обсягу
10	Задоволення вимог щодо безпеки персоналу в умовах воєнного часу на даній території	Бально-семантична шкала

Таблиця 6.5

Діапазони бальної шкали оцінювання

Дискретні стани	Нижній рівень	Верхній рівень
Критичний рівень, вимоги знехтувані	55	68
Загрозливий рівень	69	77
Рівень хиткої рівноваги, з перспективами поступового задоволення вимог	78	88
Стійкий рівень за даною вимогою	89	96
Вимоги учасників задоволено	97	100
Євро-адаптований рівень задоволення вимоги	101	115

На схемі 6.30 представлені розрахунки інтегрального критерію на основі десяти локальних критеріїв.

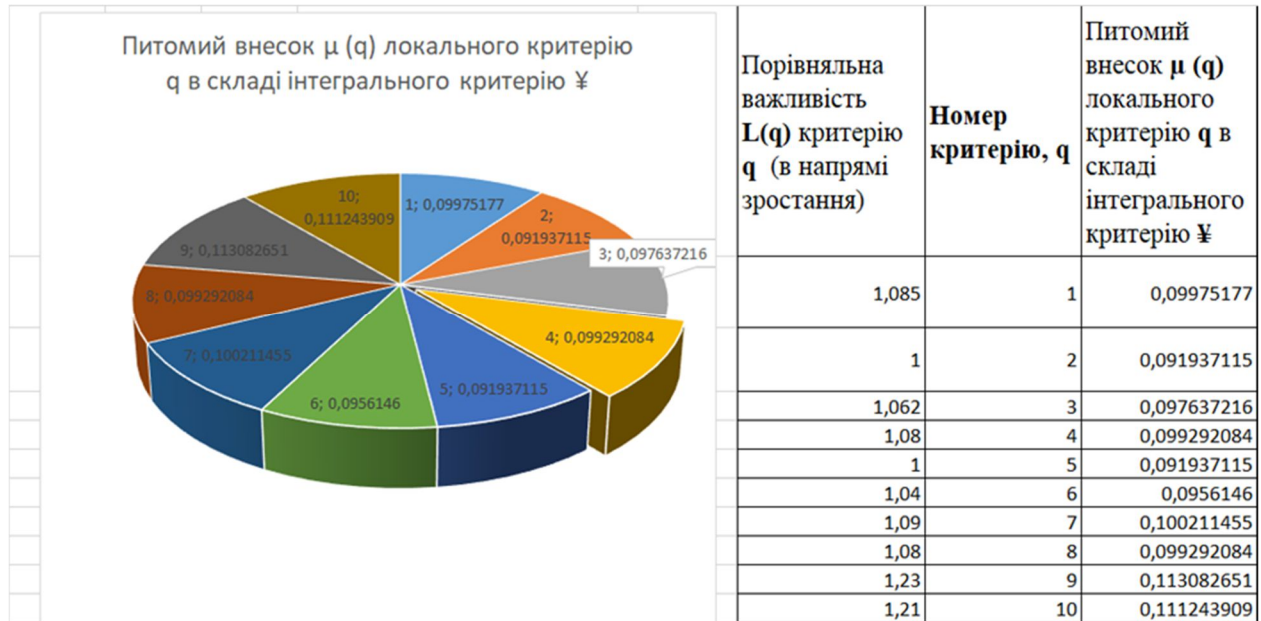


Рис. 6.30. Сполучення локальних критеріїв q до складу інтегрального критерію Υ порівняльної оцінки.

Окремий масив відображає міру порівняльного пріоритету окремого варіанту рішення проєкту будівництва щодо іншого. За максимум порівняльного пріоритету обирається рішення ($m=6$), в якому оптимально узгоджені кадастрові характеристики з функціональними, екологічними, економічними та управлінськими індикаторами проєкту. Вияв відсоткових порівняльних переваг окремих альтернатив проєкту за інтегральним критерієм продемонстровано на рис.6.31. Друга група завдань передбачає застосування низки методів безпосередньо для створення ефективних інвестиційних програм освоєння міських територій з урахуванням їх прихованого потенціалу. Розроблений алгоритм формування інвестиційної програми розвитку міських територій з урахуванням їх прихованого потенціалу наведено на рис. 6.32.

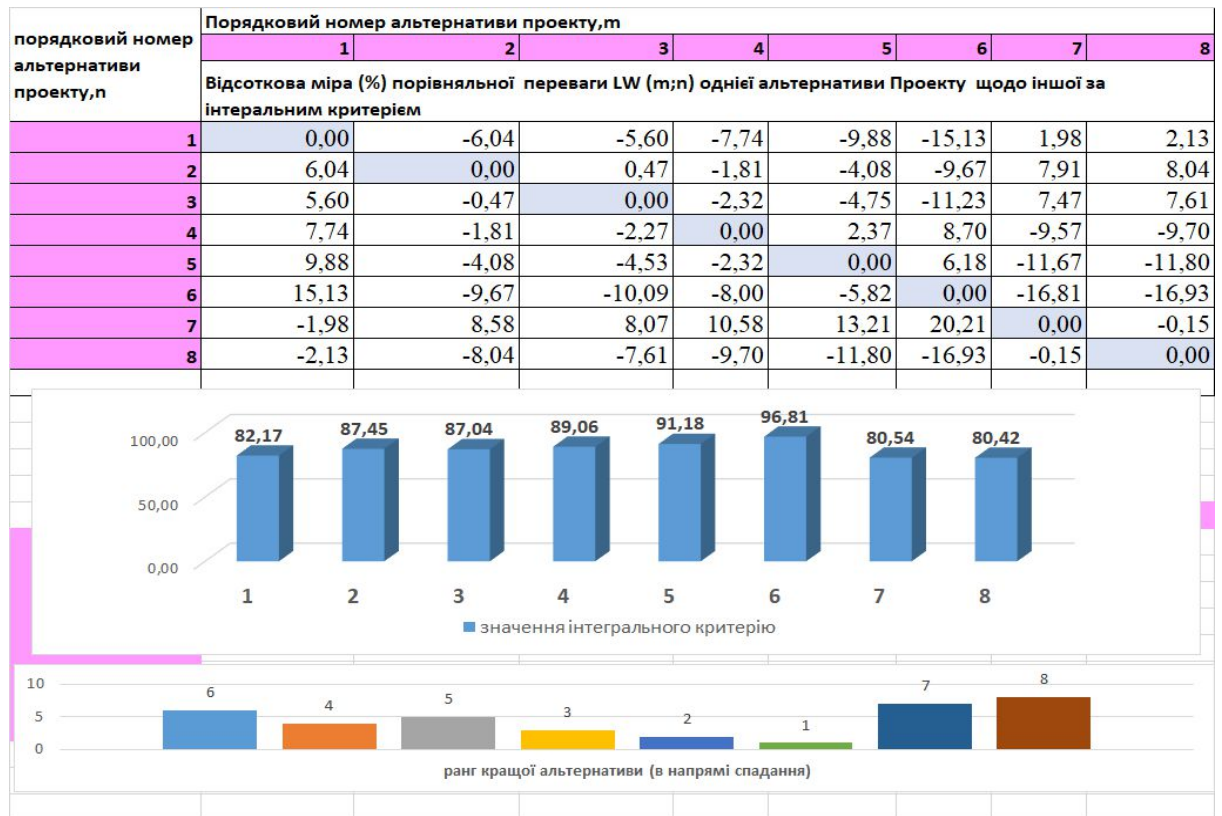


Рис. 6.31. Вияв відсоткових порівняльних переваг окремих альтернатив проекту за інтегральним критерієм

В рамках нормативно-факторного підходу сформульовано основні базові положення, виявлені в результаті комплексного аналізу результатів оцінки прихованого потенціалу міських територій та ефективності їх залучення в інвестиційні проекти. При створенні інвестиційних програм виявлено доцільність послідовного застосування таких інструментів інформаційного забезпечення:

1. Оцінка можливості інвестиційного проекту бути реалізованим;
2. Оцінка ефективності освоєння міських територій з урахуванням їх прихованого потенціалу;
3. Відбір інвестиційних проектів для їх включення в інвестиційні програми розвитку міста і визначення їх пріоритетності.

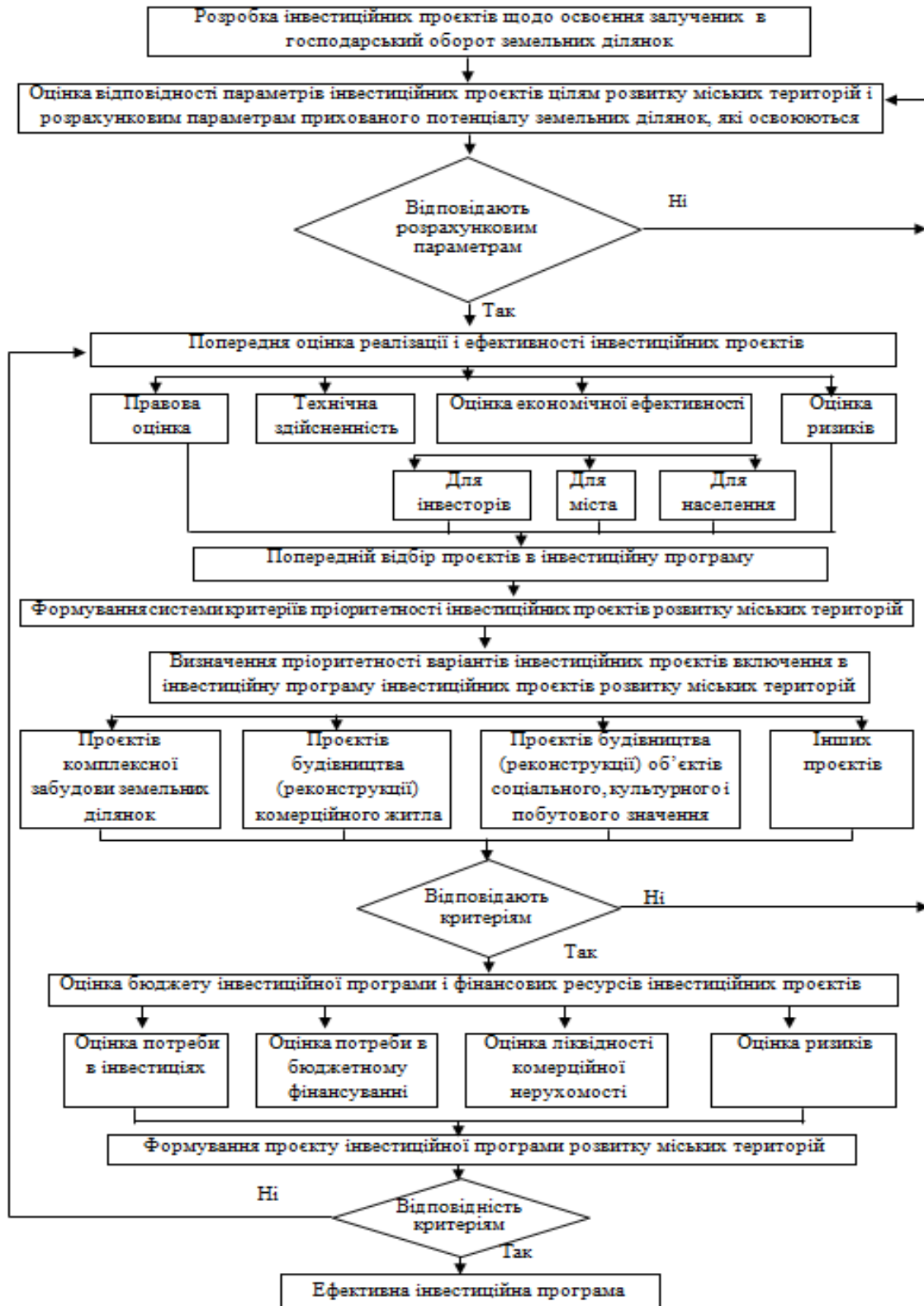


Рис. 6.32. Блок-схема алгоритму формування інвестиційної програми розвитку міських територій

Висновки до розділу 6

1. Запропоновано концептуальну схему ІТ для управління міським простором на основі методологічної платформи СІМ. Виявлені вимоги для вибору ІТ створення цифрового двійника міського об'єкта надало можливість запропонувати схему інтеграції ІТ для моделювання міського середовища і створення цифрового двійника міста, яка має ефективно обробляти великі і складні набори даних, використовувати інформацію про минуле і сьогодення для прогнозування майбутнього, реалізувати цифрове відтворення фізичного об'єкта і створити цифровий міський просторовий об'єкт, а саме СІМ-об'єкт, який має стати цифровою основою для інтелектуального планування, будівництва, управління та експлуатації ІС «Розумне місто» (Smart City).

2. Розроблено модель «цифровий двійник міського об'єкту», запропоновано ІТ «АВС» (А – Artificial intelligence, В – Big Data, С – СІМ) для управління міським простором та ІС розробки цифрових двійників міських об'єктів як компонентів системи Smart City. Розроблено ієрархічну структуру ІТ-рівнів для створення цифрового двійника міського об'єкта, яка складається з шести рівнів на основі інтеграції сучасних ІТ (ВІМ, GIS, Artificial Intelligence, Internet of Things, Big Data).

3. Запропоновано модель інтегрованого середовища загальних даних для створення цифрової моделі міста, яка визначає структуру компонентів СІМ методології для моделювання міського середовища. Інтеграція ВІМ і GIS технологій дозволяє ґрунтовно перейти до нового підходу просторового планування міського середовища. Для вирішення проблеми розробки уніфікованого стандарту методології СІМ виявлено, що СІМ модель даних для свого інформаційного наповнення має використовуватися GIS і ВІМ стандарти. Практична цінність полягає в інтеграції структур даних ВІМ та GIS технологій для розробки уніфікованого стандарту СІМ, який має стати основою

інтегрованої інформаційної платформи загальних даних для моделювання міського середовища.

4. Розроблено системотехнічну схему цифрового моделювання будівельного проєкту, яка складається з сіми рівнів, які відповідають шести рівням агрегування сутностей в термінах відношень суб'єкт-об'єкт (об'єкт-суб'єкт): "план-мета", "об'єкт-проєкт", "процес-час", "технологія-економіка", "система-ресурс", "комплекс-конвергенція". Описаний підхід до побудови суб'єктно-об'єктних і об'єктно-суб'єктних прямих і зворотних зв'язків на рівні моделі, дозволяє правильно зрозуміти сутність, доцільність та рівень використання технології інформаційного моделювання для розробки цифрових BIM моделей різної ступені деталізації.

5. Доведено необхідність трансформації підходів до формування команд управління будівельними проєктами в контексті цифровізації будівельної галузі на основі використання BIM-технологій. В результаті запропоновано дві моделі організаційних перетворень системи BIM- управління проєктом і команди BIM-управління проєктом, які є одночасно "мозком" і основним ресурсом, які визначають якість управління, взаємодії, підтримки і успіх командної роботи над проєктом.

6. Здійснено практичну апробацію результатів цифрового моделювання міських об'єктів на основі інтеграції програмних продуктів в єдиному середовищі загальних даних. Експериментальна апробація підтверджує, що цифрові двійники можуть бути використані для аналізу та управління очікуваними ризиками від можливих аварійних ситуацій, щоб уникнути їх або максимально пом'якшити їх наслідки. Експериментальне тестування підтверджує, отриманий цифровий двійник міського середовища (City Digital Twin) відповідає реальним аналогам міських об'єктів. Такий цифровий двійник сприятиме вдосконаленню процесу прийняття рішень для ефективного визначення меж містобудівних територій. Крім того, цифрові

двійники можна використовувати для аналізу та управління очікуваними ризиками, щоб уникнути їх або максимально пом'якшити їх наслідки, а створення окремих цифрових міських об'єктів і міських територій у свою чергу призведе до створення розумного цифрового міста (Smart City).

7. Запропоновано методику оцінювання ефективності визначення потенціалу розвитку міських територій в проєктах генерального планування комплексної житлової забудови на основі синтетичного інтегрального індикатора - рівня якості житлової міської території (РЯЖМТ) та розроблено прикладні інструментальні засоби для формування інвестиційної програми розвитку міських територій.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [236, 238, 249, 253, 254, 262, 269, 271, 275, 277, 278, 280, 284, 286, 288, 292, 293, 300, 302-304].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Робота присвячена вирішенню нагальної науково-прикладної проблеми в галузі інформаційних технологій – розробці методологічних засад та інформаційної технології автоматизованого моделювання об'єктів просторового планування у форматі єдиного інформаційного середовища через інтеграцію територіально розподіленої просторової і атрибутивної інформації від різних суб'єктів формування інформаційних ресурсів у проєктах забудови та розвитку територій.

Значення результатів роботи для науки полягає в розвитку інформаційної технології як методології та наукової спеціальності через запроваджені теоретико-методологічні й аналітичні інновації у застосуванні міждисциплінарного підходу до формування базової архітектури й аналітичного інструментарію єдиного інформаційного середовища для об'єктів просторового планування в проєктах будівництва з врахуванням змін цифрового простору ОПП в процесі багатостадійного девелоперського циклу проєкту будівництва та ревіталізації територій. Вперше, з позицій інтегрованого врахування сучасних вимог цифровізації, територіального планування, геоінформаційного контролінгу та будівельного девелопменту розроблено інформаційну технологію цифрового адміністрування життєвим циклом проєкту забудови та ревіталізації. Реалізовано суттєву модернізацію аналітичного інструментарію управління процесами територіального планування, в якому синергійно поєднано переваги сучасних концепцій SMART-управління, SADT-проєктування, структурного та цифрового реінжинірингу з продуктивними можливостями BIM-технологій. Це забезпечує належну виваженість та достовірність рішень щодо ОПП у процесі їх поетапної та мультикритеріальної експертизи і коригування з метою забезпечення відповідності остаточних

цифрових індикаторів ОПП директивним вимогам і потребам провідних стейкхолдерів у проєктах забудови та територіального відновлення.

Значення результатів роботи для практики полягає в тому, що особам, які приймають рішення щодо результатів просторового планування території надана інформаційна технологія і комплекс прикладних програм з аналітичної обробки, формалізованого моделювання, коригування та узгодження просторових і атрибутивних параметрів ОПП з цільовими топографічними, функціональними, виробничими, економічними індикаторами, сумісно узгодженими всіма учасниками проєкту.

Результати проведених досліджень створили обґрунтовані підстави для таких висновків:

1. Виконано аналіз теоретичних і прикладних передумов оновлення інформаційних технологій для розв'язання задач просторового планування в проєктах будівництва та ревіталізації територій, що дало змогу обґрунтувати нагальну потребу суттєвого оновлення методологічних засад і компонентів інформаційної технології з метою розробки єдиного інформаційно-аналітичного простору.

2. Розроблено структурно-функціональну модель процесу просторового планування та модель об'єктно-просторової системи (ОПС), які уможливили сформуванню концептуальну модель та архітектуру єдиного інформаційного середовища для міждисциплінарного аналізу об'єктів просторового планування (ОПП), що забезпечує спільну роботу суб'єктів споживання інформації і допомагає уникати протиріч, помилок та колізій під час розроблення проєктів планувальних рішень.

3. Розроблено узагальнену ІМ ОПП на ґрунті міждисциплінарного підходу на основі агрегації базової і тематичної інформації з різних джерел даних, сформовано основні класи ОПП з наборами атрибутів, склад яких визначається директивними загальнодержавними системами класифікації

об'єктів у відповідних галузевих реєстрах і кадастрах. Структура бази геоданих містобудівної документації щодо ОПП є складноупорядкованою, оскільки вона включає різноманітні типи атрибутів, які охоплюють геометричні та семантичні властивості. Для ефективного управління аналізу даних ці атрибути розділені на базові та другорядні набори, структура яких залежатиме від специфіки завдань, які потрібно вирішувати.

4. Розроблено багатовимірні моделі формалізованого опрацювання ОПП на різних організаційних рівнях, кожен з яких вимагає власного рівня деталізації. Здійснено аналітичну формалізацію інтегрованого опису просторової інформації для вирішення проблеми зв'язування геометричних та атрибутивних масивів даних, що окремо накопичуються в територіальному банку даних єдиного інформаційного середовища на основі мультиплікативного підходу, який застосовується до опису великих обсягів даних з використанням БЮ, що дало змогу представити в єдиній формалізованій формі ОПП різних типів і описати їх в уніфікованій формі для подальшої геообробки залежно від розмірності БЮ. Такий підхід відповідає сучасним вимогам інформаційного моделювання в будівництві, що дає змогу вирішувати завдання, пов'язані з просторовим плануванням території як окремої адміністративно-територіальної одиниці або у складі комплексного плану розвитку населеного пункту на новому технологічному рівні.

5. Реалізоване в роботі вдосконалення методу генералізації просторової інформації базувалося на використанні багатовимірних інформаційних об'єктів (БЮ), що уможлиблює інтегрувати в ЄІС різнорідну просторову інформацію на всіх організаційних рівнях управління територією при збереженні її цілісності. Цей вдосконалений метод призначений для оновлення (або заміни) просторової інформації для подальшої генералізації (узагальнення) в ЄІС для розробки ІМ ОПП на основі введеної операції заміни, що допомагає здійснити перехід до управління просторовими даними, які

розподілені за кількома репозиторіями з одночасним забезпеченням базового набору функцій над усіма джерелами даних. У деяких випадках межі між зрізами просторів даних можуть бути «плаваючими», тому всі види зв'язків між користувачами ОПС мають бути формалізованими, а семантична інтеграція має розвиватися в часі за потребою, що забезпечує високий рівень автономності компонентів ІС. В результаті доступні операції над векторними просторами, які представляються багатовимірними моделями, де в якості базисів використовуються вектори вимірювань.

6. Набув подальшого розвитку метод обробки інформації про топологічні зв'язки між ОПП на основі багатовимірної моделі представлення топологічної інформації, яку реалізовано у вигляді багат шарового цифрового куба. Кожен із шарів такої моделі відповідає певному топологічному правилу і являє собою двовимірну матрицю, що дозволило використовувати OLAP-технологію для автоматизації складних топологічних зв'язків між ОПП в ОПС. Проведено експериментальні дослідження, які довели ефективність опрацювання користувацьких запитів.

7. Розроблено методи верифікації ЦІМ ОПП. Набув подальшого розвитку метод для автоматизованої перевірки якості інформаційної моделі ОПП, який враховує ключові параметри для формування інформаційного набору правил верифікації конкретної ІМ ООП: інформацію про регіон будівництва, тип об'єкта, етап ЖЦ, рівень деталізації і наявність правил користувача. Удосконалено метод валідації інформаційних моделей ОПП методом багатоаспектної фасетної класифікації, в результаті сформовано п'ять фасет, що містять набори характеристик для кожної моделі ОПП: предмет перевірки, тип інформації, етап життєвого циклу, діапазон застосування, джерело вимог. Особливістю запропонованого методу є його відкритість та адаптивність, що дає змогу додавати нові фасети і розширювати параметри перевірок інформаційних моделей ОПП. Моделювання будівельного проекту

протягом усього його життєвого циклу по ланцюжку «PRE-BIM модель – D-BIM модель – C-BIM модель – E-BIM модель – RE-BIM модель» формує інструмент опису складної динамічної ОПС територіального планування.

8. Обґрунтовано розвиток методу формування складу і структури тривимірних моделей міських об'єктів на основі адаптованої концепції різнорівневої деталізації, який дає змогу знизити часові витрати на розроблення моделі за рахунок заздалегідь визначеного складу об'єктів з певним рівнем деталізації, а також на обробку та візуалізацію тривимірної моделі міського об'єкта. Цей метод можна використовувати і для підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій на міських об'єктах, яке полягає у підвищенні рівня операційного розуміння ситуації, без відволікання на несуттєві деталі. Метод адаптує концепцію різнорівневої деталізації до списку просторових об'єктів міської території, де для кожного з них вибираються діапазони рівнів деталізації, виходячи з потреб різних суб'єктів управління для прийнятті рішень щодо вирішення функціональних завдань ОПС.

9. Доведено необхідність трансформації підходів до формування команд управління будівельними проектами в контексті цифровізації будівельної галузі на основі використання BIM-технологій. Розроблено суттєво модернізовану інформаційну систему просторового планування будівельного проекту. В результаті запропоновано дві моделі організаційних перетворень системи BIM- управління проектом і команди BIM-управління проектом, які є одночасно "мозком" і основним ресурсом, що визначають якість управління, взаємодії, підтримки і успіх командної роботи над проектом.

10. Розроблено сервіс-орієнтовану архітектуру інформаційної системи органів виконавчої влади для забезпечення інтеграції і спільного використання базових та тематичних просторових даних, отриманих з різних інформаційних джерел для узгодженості прийняття управлінських рішень. Інтеграція BIM і GIS технологій дає змогу ґрунтовно перейти до нового підходу просторового

планування міського середовища. Для вирішення проблеми розроблено уніфікований стандарт методології CIM, який для свого інформаційного наповнення може використовувати як GIS, так і BIM стандарти. Практична цінність полягає в інтеграції структур даних BIM– та GIS–технологій для розробки уніфікованого стандарту CIM, який має стати основою інтегрованої інформаційної платформи загальних даних для моделювання міського середовища.

11. Розроблено та впроваджено в практику цифрове адміністрування проєктами будівництва і ревіталізації з використанням авторського концепту «цифрового двійника будівельного проєкту» протягом життєвого циклу. Цифровий двійник - це складна модель компонента, об'єкта, системи і процесу, що допомагає досягати стратегічно визначених цілей. Такий цифровий двійник сприятиме вдосконаленню процесу прийняття рішень для ефективного визначення меж існуючих об'єктів нерухомості та зон просторового планування міської території, що своєю чергою може бути використано при створенні ІС «Розумне місто». Такі моделі також можуть бути використані для створення цифрових аналогів реальних фізичних активів, допомагаючи моделювати будь-які зміни, які можуть вплинути на ці активи. Крім того, цифрові двійники можуть бути використані для аналізу й управління очікуваними ризиками від можливих аварійних ситуацій, щоб уникнути їх або максимально пом'якшити їхні наслідки.

Як засвідчили підсумки впровадження результатів роботи, застосування міждисциплінарного підходу, адаптоване налаштування застосованих інформаційних технологій та програмних продуктів надає успішні можливості цифрового коригування ходу виконання геоінформаційної, функціонально-технічної та інших видів підготовки в циклі адміністрування проєкту, від його ініціації до введення в експлуатацію.

Подальший розвиток дослідження доцільно спрямувати на подолання системних суперечностей щодо впровадження цифрових інструментів у практику адміністрування проектами будівництва і ревіталізації, а саме на: формування стратифікованого за етапами, роботами та виконавцями проекту цифрового багатовимірного масиву «цільових показників» та «бюджетно-ресурсних обмежень»; розробку «віртуальних майданчиків»; уніфікацію критеріїв класифікації IFC- та CityGML-систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rivolin U. J. Planning Systems as Institutional Technologies: a Proposed Conceptualization and the Implications for Comparison. *Planning Practice and Research*. 2012. Vol. 27. P. 63–85. DOI: <https://doi.org/10.1080/02697459.2012.661181> .
2. Jakubowski A., Miszczuk A. New approach towards border regions in the Territorial Agenda 2030. *Europa XXI*. 2021. Vol. 40. P. 11–25. DOI: <https://doi.org/10.7163/eu21.2021.40.1> .
3. Містобудівного кодексу України : Проект Закону України від 18.10.2010 р. № 6400. URL: <https://cutt.ly/GwHxIt2s> .
4. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 р. № 3038-VI : станом на 4 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>.
5. Marine, N. Landscape Assessment Methods Derived from the European Landscape Convention: Comparison of Three Spanish Cases. *Earth*, 2022. Vol. 3(2). P. 522–536. DOI: <https://doi.org/10.3390/earth3020031> .
6. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 р. № 2768-III : станом на 4 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> .
7. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV : станом на 31 груд. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> .
8. Spatial Planning: Key Instrument for Development and Effective Governance with Special Reference to Countries in Transition. *United Nation. Economic Commission for Europe*. New York and Geneva. 2008. 56 p. URL: <https://cutt.ly/DwHxU7oU> .
9. Department for Levelling Up, Housing & Communities. National Planning Policy Framework. 2023. 78 p. URL: <https://cutt.ly/3wHxY1PL> .
10. Batty M., Yang W. A Digital Future for Planning: Spatial Planning Reimagined. *Digital Task Force for Planning*. 2022. 146 p. URL: <https://cutt.ly/NwHxY05Q> .
11. Rydin Y., Beebejaun Y., Bianconi M., Martins J. B., Clifford B.. Five radical ideas for a better planning system. *London's Global University*. 2015. 16 p. URL: <https://cutt.ly/IwHxY9sH> .
12. Council of Europe, European Conference of Ministers responsible for Regional Planning. Guiding Principles for Sustainable Spatial Development of the European Continent. 2000. 37 p. URL: <https://rm.coe.int/1680700173> .
13. Badach J. & Raszeja E. Developing a Framework for the Implementation of Landscape and Greenspace Indicators in Sustainable Urban Planning. Waterfront Landscape Management: Case Studies in Gdańsk, Poznań and Bristol. *Sustainability*. 2019. Vol. 11(8), p. 2291. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11082291> .

14. Council of Europe. European Landscape Convention (2000). *Council of Europe Publishing Division* : Strasbourg, France.
15. Третяк А. М., Третяк В. М. Українські проблеми територіально-просторового планування розвитку землекористування територіальних громад. Планування та використання територій в контексті інклюзивного розвитку : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків. 17 трав. 2023 р. Харків, 2023. С. 219–222. URL: <https://cutt.ly/bwHxUwms> .
16. Третяк А. М. Земельний капітал: теоретико-методологічні основи формування та функціонування : монографія. Львів : СПОЛОМ, 2011. 520 с.
17. Третяк А. М. Землеустрій в Україні: теорія, методологія : монографія. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 488 с.
18. Третяк А. М., Третяк В. М., Третяк Р. А. Землепорядковане проектування: впорядкування землеволодінь і землекористувань та організація території сільськогосподарських підприємств : навчальний посібник, ч.3. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. 172 с.
19. UN Habita. International Guidelines on Urban and Territorial Planning. Nairobi : UN Habitat. 2015. 40 p. URL: <https://cutt.ly/HwHxU8ub> .
20. Oyuela A., Carbajal P., Russo A., Arcidiacono A., Colucci A., Verdeyen A., Toner S. Compendium of inspiring practices: health edition: international guidelines on urban and territorial planning. Nairobi : UN Habitat. 2018. 72 p. URL: <https://cutt.ly/xwHxU2hM> .
21. UN Habitat. World Cities Report 2016: Urbanization and Development Emerging Futures. Nairobi : UN Habitat. 2016. 264 p. URL: <https://cutt.ly/AwHxU1YI> .
22. UN Habitat and Cities Alliance. The Evolution of National Urban Policies: A Global Overview. Nairobi : UN Habitat and Cities Alliance. 2015. 96 p. URL: <https://cutt.ly/swHxUNLq> .
23. Wunder S., Wolff F. International Governance screening of global urban policies and their impacts on sustainable land use. *GLOBALANDS* Discussion Paper by Ecologic Institute and Oeko-Institut. Berlin. 2015. 31 P.
24. Sietchiping R., Reid J., Omwamba J. Implementing the SDGs and the New Urban Agenda. *Environment and Urbanization ASIA*. 2016. Vol. 7(2). P. 185-201. x-xii. URL: <https://doi.org/10.1177/0975425316660664> .
25. Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj> .
26. Directive 2011/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (codification) Text with EEA relevance. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2011/92/oj>.

27. Directive 2014/52/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment Text with EEA relevance. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/52/oj> .
28. Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1979/409/oj> .
29. Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (Codified version). URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj> .
30. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj> .
31. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj> .
32. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> .
33. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/107/o>
34. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions EU. Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives. URL: <https://cutt.ly/kwHxULDi> .
35. An Overview of Spatial Policy in Asian and European Countries. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan. URL: https://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/international/spw/index_e.html .
36. Summary National Policy Strategy for Infrastructure and Spatial Planning. Ministry of Infrastructure and the Environment. 2011. 24 p. URL: <https://cutt.ly/QwHxUiOS> .
37. Omgevingswet. Infrastructuur en Milieu. URL: <https://cutt.ly/IwHxUpZZ> .
38. Miljöbalk (1998:808). Klimat- och näringslivsdepartementet. URL: <https://cutt.ly/TwHxUffc> .
39. Trygg K., Wenander H. Strategic spatial planning for sustainable development – Swedish planners’ institutional capacity. *European Planning Studies*, 2021. Vol. 30. P. 1985–2001. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.2001792>

40. Directive 2014/89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/89/oj> .
41. Koglin T., Pettersson F. Changes, Problems, and Challenges in Swedish Spatial Planning – An Analysis of Power Dynamics. *Sustainability*. 2017. Vol. 9(10). P. 1836. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU9101836> .
42. Nowak M. J., Monteiro R., Olcina-Cantos J., Vagiona D. G. Spatial Planning Response to the Challenges of Climate Change Adaptation: An Analysis of Selected Instruments and Good Practices in Europe. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(13). P. 10431. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310431> .
43. Keijser X., Ripken M., Mayer I. S., Warmelink H. J., Abspoel L., Fairgrieve R., Paris C. Stakeholder Engagement in Maritime Spatial Planning: The Efficacy of a Serious Game Approach. *Water*. 2018. Vol. 10(6). P. 724–740. DOI: <https://doi.org/10.3390/W10060724> .
44. Hugé J. Participatory sustainability assessment for spatial planning: reflections from a pilot exercise in Flanders, Belgium. *Impact Assessment and Project Appraisal*. 2017. Vol. 35. P. 284–292. DOI: <https://doi.org/10.1080/14615517.2017.1322808>.
45. Lauwers H. Spatial Planning and Opportunities for Children's Participation: A Local Governance Network Analysis. *Children, Youth and Environments*. 2023. Vol. 15(2). DOI: <https://doi.org/10.1353/cye.2005.0006> .
46. Planning and Building Act (2008). Act of 27 June 2008 No. 71 relating to Planning and the Processing of Building Applications (the Planning and Building Act) (the Planning part). URL: <https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/planning-building-act/id570450/>.
47. Kito K. A study on planning method and spatial structure of stormwater management in large scale urban development projects in Norway. *Journal of The Japanese Institute of Landscape Architecture*. 2019. Vol. 82(5). P. 657–662. DOI: <https://doi.org/10.5632/JILA.82.657> .
48. Koçiu A., Schwarz L., Hagen K., Rudolf-Miklau F. New Perspectives on Landslide Assessment for Spatial Planning in Austria. *Advancing Culture of Living with Landslides*. WLF. 2017. P. 45–50. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-53483-1_7.
49. Lopez Juan Carlos G. Developing a Quantitative Spatial Economic Model to Evaluate Urban Water Conservation Policies in Denver. *Lincoln Institute of Land Policy*, Working Paper WP23JL1. 2023. 32 p. URL: <https://cutt.ly/ywHxUlnY> .
50. Кизи́ло К. С. Просторове планування територій: досвід європейських держав. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Землеустрій і топографічна діяльність в умовах війни та післявоєнного відновлення»*, м. Київ, 8-10 березня 2023 р. Київ : НУБІП, 2023. С. 56–58. URL: <https://cutt.ly/awHxUxR9> .

51. Ступень Р. М., Ступень О. І. Просторове планування при розробці комплексного плану територій ОТГ : *матеріали Міжнародної науково-практ. конф.*, м. Одеса, 15-16 червня 2022 р. Одеса : ОДАУ. 2022. С. 52–55. URL: <https://cutt.ly/QwHxUbRm> .
52. Land Administration Law of the people’s Republic of China (2004 Revision). Standing Committee of the National People’s Congress. URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chn3560.pdf> .
53. Cho H., Kim J., Lee E. A Study on the Advancement of Spatial Maps and the Improvement of the Legal System as a Key Tool for Sustainable National Landscape Planning: Case Study of South Korea. *Land*. 2023. Vol. 12(5). P. 1044. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12051044> .
54. Територіально-просторове планування землекористування: навч. посібник. За заг. ред. професора А. М. Третяка. Третяк А. М., Третяк В. М., Прядка Т. М., Третяк Н. А. Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук». 2022. 168 с. URL: <https://cutt.ly/awHxUWrI> .
55. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text> .
56. Про затвердження структури Баз геоданих містобудівної документації на місцевому рівні : Наказ Міністерства розвитку громад та території України від 22.02.2022 р. № 56. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0432-22#n14> .
57. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> .
58. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України від 23.12.1998 № 353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text> .
59. Guo N., Liao T. Research on the Application of BIM Technology in Construction Projects. *Journal of Civil Engineering and Urban Planning*. 2023. Vol. 5. P. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.23977/jceup.2023.050609> .
60. Hanko M., Ďubek M. Maintenance Methodology in the Facility Management System as a Basis for BIM Technology. *Czech Journal of Civil Engineering*. 2022. Vol. 8(2). P. 23–33. DOI: <https://doi.org/10.51704/cjce.2022.vol8.iss2.pp27-33> .
61. Sumlet W. BIM in Spatial Planning-Overview of the Possibilities of Using BIM Urban Mock-ups in the Process of Optimising the Management of Space on the Urban Scale. 2018. P. 8–16. URL: <https://cutt.ly/ZwHxUESE>

62. Tran S., Lee D.-Y., Bao Q. L., Yoo T., Khan M., Jo J., Park C. A Human Detection Approach for Intrusion in Hazardous Areas Using 4D-BIM-Based Spatial-Temporal Analysis and Computer Vision. *Buildings*. 2023. Vol. 13(9). P. 2313. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13092313>.
63. Ustinovichius L., Peckienė A., Popov V. A Model for Spatial Planning of Site and Building Using BIM Methodology. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2016. Vol. 23. P. 173–182. DOI: <https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1247748>.
64. Wang Y. J., Li R., Yang Z., Tan Z., Xu Z. Exploration on 3D Geological Modeling Technology Based on BIM Secondary Development – Taking Liangshuijing Tunnel as an Example. *Proceedings of the 2022 International Conference on Computational Infrastructure and Urban Planning (CIUP)*. 2022. P. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.1145/3546632.3546877>.
65. Zhao L., Liu Z., Mbachu J. An Integrated BIM-GIS Method for Planning of Water Distribution System. *ISPRS International Journal Geo-Information*. 2019. Vol. 8(8). P. 331. DOI: <https://doi.org/10.3390/IJGI8080331>.
66. Yusof N., Mohd Ishak S. S., Doheim R. M. Identifying Factors for Incorporating Spatial Data into BIM Using the Delphi Method. *Construction Economics and Building*. 2018. Vol. 18(3). P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.V18I3.6031>.
67. Munro J., Kobryn H., Palmer D., Bayley S., Moore S. Charting the coast: spatial planning for tourism using public participation GIS. *Current Issues in Tourism*. 2019. Vol. 22(4). P. 486–504. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1346589>.
68. Stelzenmüller V., Gimpel A., Gopnik M., Gee K. Aquaculture Site-Selection and Marine Spatial Planning: The Roles of GIS-Based Tools and Models. In: Buck, B., Langan, R. (eds) *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean*. Springer, Cham. 2017. P. 131–148. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7_6.
69. Baldwin K., Mahon R. A Participatory GIS for Marine Spatial Planning in the Grenadine Islands. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*. 2014. Vol. 63. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2014.tb00452.x>.
70. Bunch M., Kumaran T., Joseph R. Using Geographic Information Systems (GIS) For Spatial Planning and Environmental Management in India: Critical Considerations. *International Journal of Applied Science and Technology*. 2012. Vol. 2(2). P. 40–54. URL: <https://cutt.ly/dwHxUYXV>.
71. Robin T. A., Khan M., Kabir N., Rahaman S. T., Karim A., Mannan I., George J., Rashid I. Using spatial analysis and GIS to improve planning and resource allocation in a rural district of Bangladesh. *BMJ Global Health*. 2019. Vol. 4. e000832. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000832>.

72. Bansal V. K. Use of Geographic Information Systems in Spatial Planning: A Case Study of an Institute Campus. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2014. Vol. 28(4). P. 05014002. DOI: <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000296> .
73. Bansal V. K. Use of GIS to consider spatial aspects in construction planning process. *International Journal of Construction Management*. 2018. Vol. 20. P. 207–222. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484845> .
74. Oraee M., Hosseini M. R., Edwards D. J., Papadonikolaki, E. Collaboration in BIM-based construction networks: a qualitative model of influential factors. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2022. Vol. 29(3). P. 1194–1217. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2020-0865> .
75. Abdel-Tawab M., Kineber A. F., Chileshe N., Abanda H., Ali A. H., Almukhtar A. Building Information Modelling Implementation Model for Sustainable Building Projects in Developing Countries: A PLS-SEM Approach. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(12). P. 9242. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15129242>.
76. Zhong B., Wu, H., Li H., Sepasgozar S. M., Luo H., He L. A scientometric analysis and critical review of construction related ontology research. *Automation in Construction*. 2019. Vol. 101. P. 17–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2018.12.013> .
77. Sun C., Xu H., Wan D. Y., Li Y. Building Information Modeling Application Maturity Model (BIM-AMM) from the Viewpoint of Construction Project. *Advances in Civil Engineering*. 2021. Vol. 2021, P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021%2F6684031>.
78. Tilson D., Lyytinen K. J., Sørensen, C. Research Commentary - Digital Infrastructures: The Missing IS Research Agenda. *Information Systems Research*. 2010 Vol. 21(4). P. 748–759. DOI: <https://doi.org/10.1287/ISRE.1100.0318>.
79. Herzog O., Jarke M., Wu S. Z. Cooperating and Competing Digital Twins for Industrie 4.0 in Urban Planning Contexts. *Sci*. 2023. Vol. 5(4). p. 44. DOI: <https://doi.org/10.3390/sci5040044>.
80. Holmström J., Singh V., Främling K. BIM as Infrastructure in a Finnish HVAC Actor Network: Enabling Adoption, Reuse, and Recombination over a Building Life Cycle and between Projects. *Journal of Management in Engineering*. 2015. Vol. 31(1). DOI: <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000305> .
81. Sisman S., Ergul I., Aydinoglu A. C. Designing GIS-Based site selection model for urban investment planning in smart cities with the case of electric vehicle charging stations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-4/W5-2021. 2021. P. 515–522. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w5-2021-515-2021> .
82. Peng Y., Liu J., Zhang T., Li. X. The Relationship between Urban Population Density Distribution and Land Use in Guangzhou, China: A Spatial

Spillover Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18(22). P. 12160. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182212160> .

83. Subedi R., Chou E. Y., Williams A. GIS Based Integrated System for Analysis, Planning, and Visualization of Transportation Infrastructure, Safety, and Equity in Urban Area. *International Conference on Transportation and Development 2022*. 2022. P. 97–107. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784484340.009> .

84. Hu B., Yuan K., Niu T., Zhang L., Guan Y. Study on the Spatial and Temporal Evolution Patterns of Green Innovation Efficiency and Driving Factors in Three Major Urban Agglomerations in China – Based on the Perspective of Economic Geography. *Sustainability*. 2022. Vol. 14(15). P. 9239. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159239>.

85. Narindri B. P., Nugroho A. S., Aminullah A. Developing Building Management System Framework using Web-based-GIS and BIM Integration. *Civil Engineering Dimension*. 2022. Vol. 24(2). P. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.9744/ced.24.2.71-84>.

86. Wan W. N., Basir A., Ujang U., Majid, Z., Azri S., Choon T. L. The integration of BIM and GIS in Construction Project – A data consistency review. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*, XLIV-4/W3-2020. 2020. P. 107–116. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxiv-4-w3-2020-107-2020> .

87. Al-Saggaf A. I., Jrade A. Benefits of integrating BIM and GIS in construction management and control. *The International Construction Specialty Conference (5th : 2015 : Vancouver, B.C.); Canadian Society for Civil Engineering*. 2015. P. 167-1–167-10. DOI: <https://doi.org/10.14288/1.0076369> .

88. Saccucci M., Pelliccio A. Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage. *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*. 2018. P. 222–226. DOI: <https://doi.org/10.1109/MetroArchaeo43810.2018.13625> .

89. Zhang L. Research on the application of BIM + GIS + artificial intelligence in smart transportation. *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Virtual Reality, and Visualization (AIVRV 2021)*. 2021. 12153. 121530G-1–121530G-8. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2626831>.

90. Maebayashi A., Nakata K., Showa N., Takada T. Development of a Logistics System for Disaster Medical Container Operations Using Drones and GIS. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2021. Vol. 38(S1). P. s87–s87. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1049023X23002492> .

91. Tita E. E., Watanabe G., Shao P., Arii K. Development and Application of Digital Twin – BIM Technology for Bridge Management. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(13). P. 7435. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13137435>.

92. Cheng W., Chu Y., Xia C., Zhang B., Chen J., Jia M., Wang W. UrbanGenoGAN: pioneering urban spatial planning using the synergistic integration of GAN, GA, and GIS. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11 DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1287858> .
93. Koski C., Rönneberg M., Kettunen P., Eliassen S.Q., Hansen H.S., Oksanen J. Utility of collaborative GIS for maritime spatial planning: Design and evaluation of Baltic Explorer. *Transactions in GIS*. 2021. Vol. 25. P. 1347 - 1365. DOI: <https://doi.org/10.1111/tgis.12732> .
94. Munro J., Kobryn H. T., Palmer D., Bayley S., Moore S. A. Charting the coast: spatial planning for tourism using public participation GIS. *Current Issues in Tourism*. 2019. Vol. 22(4). P. 486–504. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1346589> .
95. Aps R., Fetissof M., Kopti M. From Planning for Society to Planning with Society. Integration of Coastal Fisheries into the Maritime Spatial Planning. *MARE Publication Series*. 2020. Vol. 22. P. 213-229. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26784-1_13 .
96. Duan C., Zhang J., Chen Y., Lang Q., Zhang Y., Wu C., Zhang, Z. Comprehensive Risk Assessment of Urban Waterlogging Disaster Based on MCDA-GIS Integration: The Case Study of Changchun, China. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(13). P. 3101. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14133101> .
97. Varela E. N., Öhring K., Moscati A. Analysis of the Challenges in the Swedish Urban Planning Process: A Case Study about Digitalization. *Sustainability*. 2022. Vol. 14(24). P. 16333. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142416333> .
98. Csukás M., Bukovszki V., Reith A. Challenges and Solutions for Organizational Design in Urban Digitalization. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. Vol. 9(2). P. 615–629. DOI: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p615> .
99. Seethaler-Wari S. Urban Planning for the Integration of Refugees: The Importance of Local Factors. *Urban Planning*. 2018. Vol. 3(4). P. 141–155. DOI: <https://doi.org/10.17645/UP.V3I4.1696> .
100. De Siqueira G., Malaj S., Hamdani M. Digitalization, Participation and Interaction: Towards More Inclusive Tools in Urban Design—A Literature Review. *Sustainability*. 2022. Vol. 14(8). P. 4514. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084514> .
101. Szijártó Z. New challenges for urban ethnic community research: Digitalization and collaboration. *Corvinus Journal of Sociology and Social Policy*. 2019. Vol. 10. P. 147–166. DOI: <https://doi.org/10.14267/cjssp.2019.2.8> .

102. Haddock A. Building information modelling for asset and facilities management. *Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington. Thesis*. 2018. 210 p. DOI: <https://doi.org/10.26686/wgtn.17134511.v1> .
103. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42. Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137. URL: <https://cutt.ly/4wHxUGSF> .
104. Galland D. Understanding the reorientations and roles of spatial planning: The case of national planning policy in Denmark. *European Planning Studies*. 2012. Vol. 20(8). P. 1359–1392. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.680584> .
105. Про основи містобудування : Закон України від 16.11.1992 № 2780-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12#Text> .
106. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Haman H., Ivanova T., Zinchenko M. Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems to Create a Digital Twin of the Construction Site. *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2022. P. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000717> .
107. Dziennik Ustaw - rok 2003 nr 80 poz. 717. Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. URL: <https://cutt.ly/twHxPWZO> .
108. Сторчоус М. Д. Сучасний стан, проблеми та перспективи застосування інформаційних технологій у використанні земель населених пунктів. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2015. Т. 32, № 1. С. 10–16. URL: <https://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/article/view/170> .
109. Дмитришин В. В. Інформаційне забезпечення містобудівного кадастру : кваліфікаційна робота бакалавра. Дубляни : ЛНУП, 2023. 70 с. URL: <http://repository.lnau.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/555> .
110. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель» (№ 711- IX від 17 червня 2020 року).
111. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Класифікації обмежень у використанні земель, що можуть встановлюватися комплексним планом просторового розвитку території територіальної громади, генеральним планом населеного пункту, детальним планом території» (№ 654 від 2 червня 2021 р.).
112. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації» (№ 962 від 1 вересня 2021 р.).
113. Постанова Кабінету Міністрів України «Про визначення формату електронних документів комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади, генерального плану населеного пункту, детального плану території» (№ 632 від 9 червня 2021 року).

114. Проект Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року» (прийнятий Київміськрадою 30.11.2016 р.).
115. Державні будівельні норми України «ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» та «ДБН Б.1.1-21:2017 Склад та зміст схеми планування території, на якій реалізуються повноваження сільських, селищних, міських рад».
116. Altohami A. B. A., Haron N. A., Alias A. H., and Law T. H., «Investigating Approaches of Integrating BIM, IoT, and Facility Management for Renovating Existing Buildings: A Review», *Sustainability*. 2021. Vol. 13(7). p. 3930. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13073930> .
117. Biloshchytskyi A., Kuchansky A., Andrashko Y., Omirbayev S., Mukhatayev A., Faizullin A., Toxanov S. «Development of the Set Models and a Method to form Information Spaces of Scientific Activity Subjects for the Steady Development of Higher Education Establishments», *Development of Higher Education Establishments*”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3(2). P. 6-14. DOI:<http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233655>.
118. D'Urso A., Cutraro V., Catania C., Rapisarda F., Garaffo G., and Cali M. «Closed Cycle Drying Process To Retrain Industrial Sludge into Construction Products». *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2019 Vol. 9(6). P. 1783-1788. DOI: <http://doi.org/10.18517/ijaseit.9.6.9930> .
119. Eldawy A., Mokbel M. F. Spatialhadoop: a mapreduce framework for spatial data. In: *2015 IEEE 31st international conference on data engineering (ICDE)*. New York: IEEE. 2015. P. 1352–1363. DOI: <https://doi.org/10.1109/icde.2015.7113382>.
120. Gandomi A., and Haider M. «Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics», *International Journal of Information Management*. 2015. Vol. 35(2). P. 137-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>.
121. Alavi A. H., and Gandomi A. H. Big data in civil engineering. *Automation in Construction*. 2017. Vol. 79. P. 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.008>.
122. Lausch A., Schmidt A., Tischendorf L. Data mining and linked open data – new perspectives for data analysis in environmental research. *Ecol Model*. 2015. vol. 295. P. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.09.018>.
123. Sadhu A., Peplinski J. E., Mohammadkhorasani A., and Moreu F. «A Review of Data Management and Visualization Techniques for Structural Health Monitoring Using BIM and Virtual or Augmented Reality». *Journal of Structural Engineering*. 2023. vol. 149. p. 03122006. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003498](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003498). To appear.

124. Vitianingsih A. V., Suryana N., and Othman Z. «Spatial analysis model for traffic accident-prone roads classification: a proposed framework», in *International Journal of Artificial Intelligence*. 2021. Vol. 10(2). P. 365-373. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i2.pp365-373>.
125. Voitushenko A., Bushuyev S. Development of project managers' creative potential: Determination of components and results of research. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. 1080 AISC. P. 283-292 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_20.
126. AECbytes. City Information Modeling 2016. URL: <http://aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>.
127. Eastman C., Lee J.-M., Jeong Y.-S., Lee J.-K. Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18(8). P. 1011-1013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>.
128. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. Second edition. NJ: Wiley. 2011. 626 p
129. Hu C., Zhang S. Study on BIM technology application in the whole life cycle of the utility tunnel. *International Symposium for Intelligent Transportation and Smart City (ITASC) 2019 Proceedings*. 2019. Vol. 127. P. 277–285. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7542-2_27.
130. Hirata C. M., Lima J. C. Multidimensional cyclic graph approach: representing a data cube without common sub-graphs. *Information Sciences*. 2011. Vol. 181. p. 2626–2655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.05.012>.
131. Ryzhakov D., Dikiy O., Druzhynin M., Petrenko H., and Savchuk T. «Innovative tools for management the lifecycle of strategic objectives of the enterprise-stakeholder in construction». *International Journal on Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(8., P. 4526-4532., DOI: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/78882020>.
132. Sarasantynty D. «Safety Hazards Identification of Construction Site Layout Based on Geographic Information System (GIS)», *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2020. Vol. 10(5). P. 2021-2027. DOI: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.5.12822>.
133. Singh D., and Reddy C. K. «A survey on platforms for big data analytics». *Journal of Big Data*. 2015. vol. 2(1). P. 8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-014-0008-6>.
134. Digital Twin Market Research Report – Global Forecast 2025. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/digital-twin-market-4504>.
135. Clementini E. and Natali S. «Extraction of Land Cover Units from Land Cover Components Based on Geometric Rules», *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2019. Vol. 9(6). P. 1789-1797. DOI: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.6.8784>.

136. Codd E. F., Codd S. B., C. T., «Salley, Providing OLAP (OnLine Analytical Processing) to User-Analysts: An IT Mandate», E.F. Codd @ Associates, 1993, 24 p.
137. Franconi E., and Sattler I. A. DataWarehouse Conceptual Data Model for Multidimensional Aggregation. In *Proc. Of the International Workshop on Design and Management of Data Warehouses (DMDW)*. 1999. Vol 19(13). P. 1-10. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-19/paper13.pdf>.
138. Glaessgen E., Stargel D. «The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles», *53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. 2012. URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120008178.pdf>.
139. Lanzara E., Scandurra S., Pulcrano M., Acquaviva S., Gallo M., Palomba D. and Luggo A. D. «Scan to H-BIM. Image Sampling per reality based Data Mapping» in: *Proceedings of the XIX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. 2022. P. 523-526. DOI: <https://doi.org/10.31428/10317/11367>.
140. Kraft E. M. «The Air Force Digital Thread/Digital Twin – Life Cycle Integration and Use of Computational and Experimental Knowledge». *54th AIAA Aerospace Sciences Meeting. San Diego, California, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2016-0897>.
141. Malinowski E. and Zimany E. «Spatial Hierarchies and Topological Relationships in the Spatial MultiDimER Model». *Lecture Notes in Computer Science. BNCOD*. 2005. P. 17-28. DOI: https://doi.org/10.1007/11511854_2.
142. Mengiste E., García de Soto B. and Hartmann T. «Towards the integration of image-based appearance information into BIM» in: *Proceedings of the 2021 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering (i3CE2021) – IT for Smart Infrastructure and Communities, Orlando, Florida, USA*. 12-14 September 2021. P. 433-440. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784483893.054>.
143. Thomsen E. OLAP Solution: Building Multidimensional Information System. NY, Willey Computer Publishing. 2002. 688 p.
144. EARTH_OBSERVATION_SYSTEM. 2019. EOS processing-classic gis algorithms. URL: <https://eos.com/eos-processing/>.
145. D’Amico F., Calvi A., Schiattarella E., Prete M. D., Veraldi V. BIM and GIS Data Integration: A Novel Approach of Technical/Environmental Decision-Making Process in Transport Infrastructure Design. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 45. P. 803–810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.090>.
146. Tao F., Sui F., Liu A., Q Qi, Zhang M., Song B., Guo Z., Lu SCY, and Nee AYC. «Digital twin-driven product design framework». *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57(12). P. 3935–3953. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>.

147. Salmam F. Z., Fakir M., Errattahi R. Explanation in OLAP data cubes. *Journal of Information Technology Research*. 2014. Vol. 7. No. 4. P. 63–78. DOI: <https://doi.org/10.4018/jitr.2014100105>.
148. Dell'Acqua G., De Oliveira S. G., Biancardo S. A. Railway-BIM: Analytical review, data standard and overall perspective. *Ing. Ferroviaria*. 2018. Vol. 73. P. 901–923.
149. Demirdöğen G., Diren N. S., Aladağ H., and Işık Z. «Lean Based Maturity Framework Integrating Value, BIM and Big Data Analytics: Evidence from AEC Industry», *Sustainability*. 2021. Vol. 13(18). p. 10029. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810029>.
150. Samson G., Lu J., Xu Q. «Large spatial datasets: present challenges, future opportunities». *Proceedings of the International Conference on Change, Innovation, Informatics and Disruptive Technology ICCIIDT'16, London, UK*. 11-12 October 2016. P. 204–217.
151. Sezen G., Cakir M., Atik M. E., and Duran Z. «DEEP LEARNING-BASED DOOR AND WINDOW DETECTION FROM BUILDING FAÇADE», *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Nice, France*. 6-11 June 2022. Vol. 43, P. 315-320. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-315-2022>.
152. Bernstein Harvey M., Russo Michele A., Jones Stephen A. Green BIM. How Building Information Modeling is Contributing to Green Design and Construction. – *McGraw-Hill Construction*. 2010. p. 52.
153. Arutiunian I., Poltavets M., Bondar O., Anin V. and Pavlov F. «Structural Information Management of Production Systems in Construction», *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. July – August 2020. Vol. 9(4) P. 4794 – 4797. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/87942020>.
154. Information modeling of industrial and civil construction objects. Autodesk [Electronic resource]. URL: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings_Autodesk.pdf.
155. Cheng J. C. P., Lu Q., Deng Y. Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*. 2016. Vol. 67. P. 31–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006>.
156. Cheng J. and Lu Q. A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide. *ITcon*. 2015. Vol. 20, P. 442–478. URL: https://itcon.org/papers/2015_27.content.01088.pdf.
157. Jo J., Lee K-W. High-performance geospatial big data processing system based on MapReduce. *ISPRS Int J Geo-Inf*. 2018. Vol. 7(10). P. 399. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi7100399>.

158. Wong J. K. W. and Zhou J. «Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review», *Automation in Construction*. 2015. Vol. 57. P. 156-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>.
159. Chen K., Chen W., Li C. T. and Cheng J. C. P «A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management». *Journal of Information Technology in Construction*. 2019. Vol. 24. P. 360-380. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2019.019>.
160. Gopalakrishnan K., Agrawal A. and Choudhary A. «Big Data in Building Information Modeling Research: Survey and Exploratory Text Mining», *MOJ Civil Eng.* 2017. vol. 3(6). DOI: <https://doi.org/10.15406/mojce.2017.03.00087>.
161. Alarabi L., Mokbel M. F., Musleh M. «Sthadoop: a Mapreduce framework for spatiotemporal data» in *GeoInformatica*. 2018. Vol. 22. P. 785–813. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10707-018-0325-6>.
162. Ahmad M., Sinelnikova T., Mustafa S. and Lyashenko V. «Features of the Construction and Control of the Navigation System of a Mobile Robot». *International Journal on Emerging Trends in Engineering Research*. April 2020. Vol: 8(4), P. 1445-1449. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/82842020>.
163. Alkathiri M., Jhummarwala A. and Potdar M. B. «Multi-dimensional geospatial data mining in a distributed environment using MapReduce», *J Big Data*. 2019. Vol. 6. P. 82-90. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0245-9>.
164. Arslan M., Riaz Z., and Munawar S. «Building Information Modeling (BIM) Enabled Facilities Management Using Hadoop Architecture». *2017 Proceedings of PICMET '17: Technology Management for Interconnected World, Portland, USA*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.23919/picmet.2017.8125462>.
165. Baghalzadeh Shishehgarhaneh M., Keivani A., Moehler R. C., Jelodari N. and Roshdi Laleh S. «Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis». *Buildings*. September 2022. Vol. 12(10). p. 1503. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101503>.
166. Deng M., Menassa C. and Kamat V. «From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry». *Journal of Information Technology in Construction*. March 2021. Vol. 26. P. 58-83. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.005>.
167. Dyomin M., Dmytrenko A., Chernyshev D., Ivashko O. Big Cities Industrial Territories Revitalization Problems and Ways of Their Solution. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 73. P. 365-373. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_37.

168. El-Mekawy M. Integrating BIM and GIS for 3D City Modelling: The Case of IFC and CityGML. 2011. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-28899>.
169. Gerges M., Austin S., Mayouf M., Ahiakwo O., Jaeger M., Saad A., El Gohary T. An investigation into the implementation of building information modeling in the Middle East. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. 2017. Vol. 22. P. 1–15.
170. Pepe M., Costantino D., Restuccia Garofalo A. An Efficient Pipeline to Obtain 3D Model for HBIM and Structural Analysis Purposes from 3D Point Clouds. *Appl. Sci.* 2020. Vol. 10. p. 1235. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041235>.
171. Evans M. R., Oliver D., Yang K., Zhou X., Ali R. Y., Shekhar S., «Enabling spatial big data via CyberGIS: challenges and opportunities», In: Wang S., Goodchild M. (eds) *CyberGIS for Geospatial Discovery and Innovation*, Springer, Dordrecht. 2018. vol 118. P. 143-170. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1531-5_8.
172. Shkuro M. and Bushuyev S. «Development of proactive method of communications for projects of ensuring the energy efficiency of municipal infrastructure». *Eureka Physics and Engineering*. 2019. Vol. 1. P. 3-12. DOI: <https://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00826>.
173. Amri N. A., Jemain A. A. and Fudholi A. Optimization of spatial data sample for gold mineral prediction. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11(15). P. 9065-9068.
174. Giustolisi O., Simone A., Ridolfi L. Classification of infrastructure networks by neighborhood degree distribution. *arxiv.org*. 2016. URL: arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1609/1609.07580.pdf (date of access: 18.07.2019).
175. Romero O., Pedersen T. B., Berlanga R., Nebot V., Aramburu M J., Simitsis A. Using semantic web technologies for exploratory OLAP: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2015. Vol. 27. No.2. P. 571–588. DOI: <https://doi.org/10.1109/TKDE.2014.2330822>.
176. Rigaux P., School M. and Voisard A. *Spatial Databases with Application to GIS*. Elsevier Science Technology Books. 2002.
177. Prepare for the Impact of Digital Twins URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins> .
178. Yang Q., Wu G. N. and Wang L. Z. «Big Data: A New Perspective of the Engineering Project Management Driven by Data». *Systems Engineering Theory Practice*. 2017. Vol. 37. P. 710-719.
179. Sacks R., Eastman C., Lee G., and Teicholz P. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd ed.; John Wiley Sons: Hoboken, NJ, USA, 2018, p. 688.

180. Trach R., Bushuyev S. Analysis of communication network of the construction project participants. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. 2020. Vol. 29(3). P. 388-396 (2020). DOI: <https://doi.org/10.22630/pniks.2020.29.3.33>.
181. Adekunle S. A., Aigbavboa C. O., Ejohwomu O., Adekunle E.A. Thwala and W. D. «Digital transformation in the construction industry: a bibliometric review». *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. DOI: <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2021-0442> .
182. Biancardo S. A., Viscione N., Cerbone A. and Dessì E. «BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls». *Infrastructures*. 2020. Vol. 5(7) p. 59. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>.
183. Kaewunruen S., Sresakoolchai J., Zhou Z. Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 24-36. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062436>
184. Shelest T., Kolesnikov O., Biloshchytskyi A. The development of stakeholders' interaction model in seafarers' training. *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/sist50301.2021.9465982>.
185. Rao X. K., Ma R., Zhang L. and Yi C. Z. «Big Data Safety Management Platform for Dyke Engineering Based on Artificial Intelligence: Research and Implementation», *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2019. Vol. 36. P. 104-110. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojbm.2020.83067>.
186. Hesna Y., Hasan A., Nurhamidah N. and Yosa F A. «The Effect of Local Crime on Construction Projects in Padang City», *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 9(5), P. 1550-1555, 2019. DOI:10.18517/ijaseit.9.5.4204
187. Laadidi Y. and Bahaj M. «Annotating data with multidimensional properties» on *International Journal of Computing*. 2019. vol. 18 (3). P. 249-257. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.18.3.1517>.
188. Tan Y., Fang Y., Zhou T., Gan V.J.L. and Cheng J.C.P. «BIM-supported 4D acoustics simulation approach to mitigating noise impact on maintenance workers on offshore oil and gas platforms». *Automation In Construction*. 2019. Vol. 100, P. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.019>.
189. Yuan Y., Jin Z. «Life cycle assessment of building energy in big-data era: theory and framework», In *Network and Information Systems for Computers (ICNISC)*. January 2015. P. 601-605. DOI: <https://doi.org/10.1109/icnisc.2015.130>.
190. Лященко А. А. Системні вимоги до сучасного містобудівного кадастру та містобудівної документації. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. № 47. С. 397 – 405.

191. Горковчук Д. В. Розроблення геоінформаційної моделі зонування міських територій для використання в системах містобудівного кадастру, *ScienceRise*. 2016. № 2 (29).
192. Безлюбченко О. С. Планування і благоустрій міст – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.kubg.edu.ua/index.php/art/article/%20view/314/292#.X2oRM2gzZPa> .
193. Сингаївська О., Биваліна М. Основні напрями вирішення проблем у сфері благоустрою та озеленення міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. №81. С. 313–336. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.313-336>.
194. Сингаївська О. І., Биваліна М. В., Васильєва Г. Ю., Усова О. С., Чередніченко П. П. Проектування міських територій. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2019. Випуск 54. с. 322-331.
195. Петраковська О., Михальова М. Підходи до класифікації і реєстрації обмежень у використанні земель. *Просторовий розвиток*. 2023. (6). с. 329–337. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.329-337> .
196. Білецький Є. К., Петраковська О. С. Значення комплексного плану просторового розвитку територій територіальних громад для післявоєнної відбудови. *Геодезія та землеустрій*. 2023. р. 185-186. URL: <https://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/163660/1/Тиждень%20студентсько%20науки%20-2023-185-186.pdf> .
197. Порядок розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації: Постанова КМУ № 926-2021-п від 01.09.2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#n8> (дата звернення: 15.04.2023).
198. Digital Twins. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/cifrovoj-dvojnuk-digital-twin> .
199. Уряд визначив чотири пріоритетні напрями фінансування відновлення України URL: <https://koda.gov.ua/operatyvna-informacziya-stanom-na-1900-28-03-2022-shhodo-sytuacziyi-na-kyiyivshhyni/> (дата звернення: 15.04.2023)
200. Petrakovska O., Mykhalova M., Reutova O., Bohatyr D. Land use limitations as object of cadastral system. *Geoinformatics*. 2021. P.1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521119>.
201. Bashynskiy Y., Barabash M., Bieliatynskiy A. Study of the influence of metro loads on the destruction of nearby buildings and construction structures using BIM technologies. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2023. Vol. 29(8). P. 714 – 728. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.20147>
202. Barabash M., Iegupov V., Pysarevskiy B. Simulation of the Seismic Resistance of Buildings with Account of Unlimited Soil Space. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 100. P. 26 – 33. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_4

203. Городецкий Д. А., Барабаш М. С., Водоп'янов Р. Ю. Програмний комплекс ЛІРА-САІР 2015: навчальний посібник, 2020, 315 стор.
204. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства / Барабаш М.С. // Монография. – К.: «Сталь», 2014. 301 с.
205. Syrotkina O., Kobti Z., Aleksieiev M., Moroz B., Udovky I., Shvachych H. Mathematical Modeling and Analysis of Patterns in Structured Collections of Big Data. *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies*. 2023. P. 104–108. DOI: <https://doi.org/10.1109/acit58437.2023.10275705>
206. Syrotkina O., Kobti Z., Aleksieiev M., Moroz B., Udovky I., Diachenko G. Mathematical Model and Method for Diagnosing the Operability of Information and Control Systems. *Ruzomberok 2022*. P. 49–52. (ISSN 2770-5218)
207. Syrotkina O., Aleksieiev M., Udovky I. Graphical and analytical methods for processing “Big Data” based on the analysis of their properties. *Системні технології*. 2019. Vol. 3 (122). p.78–90. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-122-2019-10>
208. Prokhorova V., Chechetova N., Korzh R., Orel O., Fedotova I., Lytvynenko K. The Digital Transformation of Creative Industries as a Management Imperative of Information Security of Society on a Parity-Legal Basis. *Journal of Information Technology Management*. 2023. Vol. 15 (4). P. 47–63.
209. Bezshapkin S., Korzh R., Verenysh O., Vasyliiev I. State-of-the-art Geoinformation Technologies Use in the Road Traffic Management, *ITPM 2021, CEUR Workshop Proceeding*. 2021. Vol. 2851. P. 217–227.
210. Prokhorova V., Korzh R., Mrykhina O., Koleshchuk O., Mirkunova T. Innovative technologies under digital economics conditions. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol.29 (8). P. 2504–2510.
211. Третьяк А. М., Третьяк В. М., Лобуцько Ю. В. Інформаційні проблеми розроблення комплексних планів просторового розвитку територій територіальних громад. *За матеріалами II Міжнародної науково-практичної конференції «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences»*, *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2021. № 9. С. 33-41.
212. Третьяк А. М., Третьяк В. М., Прядка Т. М., Третьяк Н. А. Територіально-просторове планування: базові засади теорії, методології, практики: монографія. Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук»», 2021. 142 с.
213. Третьяк А. М., Третьяк В. М., Прядка Т. М. Законодавчо-нормативне запровадження зонування земель за типами (підтипами) землекористування в заміні чинних категорій земель. *Землевпорядний вісник*. 2021. № 2. С. 16-20.

214. Чередніченко П. П., Осетрін М. М., Шилова Т. О., Васильєва Г. Ю. Інженерне облаштування міських вулиць та доріг. К.: КНУБА, 2021. 220 с.
215. Сингаївська О. І., Чередніченко П. П. Структура інформаційно-аналітичного забезпечення містобудівної діяльності в галузі інженерної підготовки території. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. Вип. 76. С. 271-297.
216. Дьомін М., Олійник О. Аналіз мережі громадських просторів Києва на основі конфігураційних моделей. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. № 79. С. 148-163.
217. Дьомін М., Яценко В., Бєрова П. Щодо питання про сучасний стан містобудівної та регіональної діяльності в Україні. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. Вип. 83. С. 3-15.
218. Дьомін М. М., Яценко В. О., Короткова Т. М. Пошук відповідей, чому регіональне планування є основою містобудівної діяльності в побудові стратегії розвитку України. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. Вип. 82. С. 3-16. DOI: 10.32347/2076-815x.2023.82.3-16.
219. Дьомін М. М., Яценко В. О., Бєрова П. І. Щодо питання про сучасний стан містобудівної та регіональної діяльності в Україні. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. Вип. 83. С. 3-15. DOI: 10.32347/2076-815x.2023.83.3-15
220. Дьомін М. М., Михайлик О. О. Сині лінії як засіб графічної фіксації меж водних об'єктів в містобудівній документації. *Просторовий розвиток*. 2023. Вип. 3, С. 56-62. DOI: 10.32347/2786-7269.2023.3.56-62
221. Дьомін М. М., Вяткін К. І., Сингаївська О. І. Проекція тенденцій розвитку Харківської регіональної системи розселення населення в умовах післявоєнної відбудови. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. № 81, С. 3-10. DOI: 10.32347/2076-815x.2022.81.3-12
222. Сингаївська О. І., Топал С. С. Визначення функціонально-планувальної організації зони житлової забудови в комплексних нормативних документах. *Містобудування та територіальне планування*. Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2022. вип. 79. С. 396-405.
223. Сингаївська О. І. Інформаційна система бази даних кадастру пам'яток народної архітектури – найважливіша стратегічна складова збереження культурної спадщини. *Матеріали Міжнародної наукової конференції, присвяченої 50-річчю заснування Національного музею народної архітектури та побуту України. Збірник доповідей*. 2019. С. 364-373.
224. Приймаченко О. В., Васильєва Г. Ю., Лісниченко С. В., Міщенко О. Д., Усова О. С., Чередніченко П. П. Проектування міських територій. *Містобудування та територіальне планування: наук. Техн. збірник*. – К., КНУБА. 2020. Вип. 72. С. 21-29.

225. Лященко А., Карпенко О., Черін А. [Інфраструктура геопросторових даних та геоінформаційне забезпечення сталого розвитку територіальних громад](#). *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №78. С. 343-355
226. Карпінський Ю., Лященко А., Макаренко Д., Черін А. Національна інфраструктура геопросторових даних України у світовому вимірі: стан та нагальні завдання розвитку і сталого функціонування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. I (41). С. 104-112.
227. Лященко А., Карпінський Ю., Гаврилюк Є., Черін А. Методи та засоби забезпечення інтегрованості компонентів національної інфраструктури геопросторових даних. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №77. С. 309-319.
228. Yeremenko T., Patrakeyev I., Ziborov V., Maksymova Y. Комплексне моделювання складних об'єктів геоінформаційного моніторингу. *Questjournals. Journal of Architecture and Civil Engineering*. 2021. Том 6, Випуск 7. С. 28-36.
229. Maksymova Yu. [Geoinformation technology of the master plan geospecial profile data sets development](#). *Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2021. № 87. С. 75-83.
230. Бородавка Є. В. Методологія створення інформаційної технології автоматизації життєвого циклу будівельних об'єктів. 2017, дис.на здоб. д.т.н. за спец. 05.13.06–інф.техн., 295 с.
231. Левченко О., Косаревська Р. BIM як метод впровадження інновацій в архітектурі та будівництві для відновлення країни. *Перша міжнародна конференція «ВІДКРИТА НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ В УКРАЇНІ 2022»*. 2022. С. 131-133. URL: <https://dntb.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/zb-2022.pdf#page=132>
232. Левченко О., Михайленко А. Аспекти підготовки BIM-менеджерів. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*, 2021. № 59. С. 118-131. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.59.118-131>
233. Levchenko O., Mykhailenko A. [BIM personnel: from users to managers](#). *Current problems of architecture and urban planning*. 2020. № 56. P. 88-102.
234. Bilov V., Goi V., Mamonov K., Tregub O., Levchenko O. Advantages of building information modeling (bim) during the operational life. *Amazonia Investiga*. 2023. Vol. 12(68). P. 346-363. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2023.68.08.32>
235. Kysil O., Kosarevska R., Levchenko O. The innovation of accounting and certification of historic architectural monuments using BIM technology. *Budownictwo i Architektura*. 2020. No: 2. P. 5-18. URL: <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=885189>

236. **Honcharenko T.**, Akselrod R., Shpakov A., Khomenko O. Information system based on multi-value classification of fully connected neural network for construction management, *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2023. № 12(2). P. 593–601. DOI:<https://doi.org/10.11591/ijai.v12.i2.pp593-601>.
237. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Chupryna I., Shpakova H. Integration of Data Flows of the Construction Project Life Cycle to Create a Digital Enterprise Based on Building Information Modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol.1. P. 40–50. DOI:https://doi.org/10.46338/ijetae0122_05.
238. Ryzhakova G., Malykhina O., Pokolenko V., Rubtsova O., Homenko O., Nesterenko I., **Honcharenko T.** Construction Project Management with Digital Twin Information System”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2022. Vol. 12 (10). P. 19-28. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae1022_03.
239. **Honcharenko T.**, Ryzhakova G., Borodavka Ye., Ryzhakov D., Savenko V., Polosenko O. Method for representing spatial information of topological relations based on a multidimensional data model. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021. Vol.16(7). P. 802–809. URL: https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0421_8555.pdf.
240. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Liazschenko T. Integrated processing of spatial information based on multidimensional data models for general planning tasks. *International Journal of Computing*. 2021. Vol.20(1). P. 55–62.
241. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Malykhina O., Druzhynina I., Gorbatyuk I. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2021. Vol. 11(5). P.1306–1312. DOI: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.5.13687>.
242. Riabchun Y., **Honcharenko T.**, Honta V., Chupryna K., Fedusenko O. Methods and means of evaluation and development for prospective students’ spatial awareness, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019. Vol. 8(11). P. 4050–4058. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1532.0981119>.
243. Terentyev O., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. Multidimensional Space Structure for Adaptable Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol.8(3). P.7753–7758 DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.C6318.098319>.

244. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Andrashko Yu., Budnik S., Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019. Vol.8(6). P. 3934–3940. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijeat.F9057.088619> .

245. Kuchansky A., Andrashko Yu., Biloshchytskyi A., Danchenko O., Parionov O., Vatskel I., **Honcharenko T.** The method for evaluation of educational environment subjects' performance based on the calculation of volumes of m-simplexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/4 (92). P. 15–25.

246. **Гончаренко Т. А.** Архітектура програмної системи на основі концепції рефлексивної адаптації, *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 54. С. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.54.69-76> .

247. Савенко В. І., Демидова О. О., Шатрова І. А., **Гончаренко Т. А.**, Лященко Т. О. Еволюція розвитку організації і кадрового менеджменту, *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 53. С. 91–99. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.53.91-99> .

248. **Гончаренко Т. А.** Метод визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. 2022. № 1–2 (7–8). С. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2022.02.04> .

249. **Гончаренко Т. А.** Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51. С. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93> .

250. Савенко В. І., **Гончаренко Т. А.**, Нестеренко І. С., Шатрова І. А., Демидова О. О. Якість управління, його вимірювання і поліпшення. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 50. С. 52–59. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.52-59> .

251. **Гончаренко Т. А.** ВІМ-технології як інструментарій для створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 47. С. 83–88. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.83-88> .

252. **Гончаренко Т. А.**, Михайленко В. М., Доля О.В. Інваріантність інформаційного моделювання прибудинкової території протягом життєвого циклу. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2021. № 1(5). С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2021.01.01> .

253. **Гончаренко Т.А.**, Міхайленко В.М. Інструменти інформаційного забезпечення визначення прихованого потенціалу розвитку міських територій для реалізації проєктів генерального планування комплексної житлової забудови. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 44. С. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.44.70-77> .

254. **Гончаренко Т.А.** Структура методології СІМ для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції ВІМ та GIS технологій. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2020. № 2 (4). С. 42–53. DOI: <http://pim.khpi.edu.ua/article/view/2411-0558.2020.02.07> .

255. **Гончаренко Т.А.** Інтеграційна модель життєвого циклу території будівлі на основі ВІМ. *Управління розвитком складних систем*, 2020. № 43. С. 83–90. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.83-90> .

256. **Гончаренко Т.А.** Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 42. С. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101> .

257. **Гончаренко Т.А.**, Міхайленко В.М. Метод багатоаспектної класифікації для верифікації багатовимірних інформаційних моделей об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*, 2020. № 41. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.61-67> .

258. **Гончаренко Т.А.** Об'єктно-орієнтоване моделювання просторових об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 38. С. 64–70. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/2385>.

259. **Гончаренко Т.А.** Верифікація інформаційних моделей об'єктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 39. С. 65–70. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340656>.

260. **Гончаренко Т.А.**, Міхайленко В.М. Застосування методів багатовимірного аналізу даних для моделювання території під забудову. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2019. № 28 (1353). С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.28.02>.

261. Kyivska K., Borodavka Y., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.** Information technology of automation of life cycle of construction objects. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. 2021. Vol.12. No.13. P. 152–158. DOI: <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i13.8267>.

262. **Honcharenko T.**, Chupryna Y., Ivakhnenko I., Zinchenco M., Tsyfra T. Reengineering of the Construction Companies Based on BIM-technology. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(8). P. 4166–4172. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/22882020> .

263. Kulikov P., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Ryzhakov D., Malykhina O. OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol. 9(5). P. 8670-8676.
264. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Information Simulation of Life Cycle of Building Territory at Master Planning Based on BIM-model. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(10). P. 7337-7343.
265. **Honcharenko T.**, Borodavka Y., Dolya E., Fedusenko O., Domanetska I. Comprehensive Information Support of Urban Planning on BIM-based Design. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. 9(5). P. 9197- 9203. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatecse/2020/328952020>.
266. Ryzhakova G., Chernyshev D., Druzhynin M., Petrenko H., Savchuk T., **Honcharenko T.** Methodological Regulation of Business Processes Reengineering in the Modern Construction Development System. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020. Vol. 8(5). P. 5046-5052. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.E6947.018520> .
267. **Honcharenko T.**, Andrashko Yu., Fedusenko O., Domanetska I., Olkhova N. The Method of Generalizing Spatial Information into a Single Multidimensional Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4), P. 8426-8432. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.D9419.118419>.
268. Ryzhakova G., Ryzhakov D., Petrukha S., Ishchenko T., **Honcharenko T.** The Innovative Technology for Modeling Management Business Process of the Enterprise. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4), P. 4024-4033. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.D8356.118419>.
269. Савенко В.І, **Гончаренко Т.А.**, Нестеренко І., Шатрова І., Пальчик С. Вдосконалення методів розрахунків сітьових графіків в будівництві на основі теорії графів та інформаційних технологій, THEORETICAL AND SCIENTIFIC FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 2022. 543 p. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1>.
270. **Honcharenko T.**, Solovei O. Optimal bin number for histogram binning method to calibrate binary probabilities. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. 3st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Vol.3628. P.126–135.
271. Chernyshev D., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Petrenko A., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. *Lecture Notes in Networks and Systems*.2023. Vol.495. P.1316–1331. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08954-1_114.

272. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Terentyev O., Predun K., and Rosynskiy A., Information system of multi-stage analysis of the building of object models on a construction site, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023. Vol.1254 (1). № 012075.

273. Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Predun K., Petrukha N., Malykhina O., Khomenko O., Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System, *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2023. p. 208–213. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223560>.

274. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Savenko V., Balina O., Bezklubenko I., Liashchenko T., Construction Site Modeling Objects Using Artificial Intelligence and BIM Technology: A Multi-Stage Approach, *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2023. P. 174–179. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223543> .

275. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Sapaiev V., Delembovskyi M. Digital Object Detection of Construction Site Based on Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems. *CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*. 2022. Vol. 3039. P. 267–279. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3309/short10.pdf>.

276. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Haman H., Ivanova T., Zinchenko M. Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems to Create a Digital Twin of the Construction Site. *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2022. P. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000717>.

277. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Dolhopolova S., Riabchun O., Delembovskyi M. Use of Artificial Intelligence Systems for Determining the Career Guidance of Future University Student. *2022 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. 2022. P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945752> .

278. **Honcharenko T.**, Shpakova H., Predun K., Zinchenco M., Liashchenko M., Savenko V. Smart Information System for Creating Digital Twins of Construction Project. *2022 IEEE 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. 2022. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945785>.

279. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Gorbatyuk I. Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, 344, p.3-15, DOI: [10.1007/978-3-030-89902-8_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89902-8_1) .

280. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Serpinska O., Savenko V., Kysliuk D., Orlyk Y. Digital transformation of the construction design based on the Building Information Modeling and Internet of Things. *1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021 CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 3039. P. 267–279. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3039/paper16.pdf>.

281. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Liashchenko M., Terentyev O., Gorbatyuk I., Dolya E. Mathematical Modeling of Online Transaction Processing System for Design of Building Territory. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021 - Proceedings*. 2021. P. 552–556. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON53503.2021.9575215>.

282. **Honcharenko T.**, Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Transform approach for formation of construction project management teams based on building information modeling. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 11–21. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2851/paper2.pdf>.

283. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Borodavka Y., Dolya E., Savenko V. Information tools for project management of the building territory at the stage of urban planning. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 22–33. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2851/paper3.pdf>.

284. Kuchansky A., Biloshchytskyi A., Andrashko Yu., Biloshchytska S., **Honcharenko T.**, Nikolenko V. Fractal time series analysis in non-stationary environment, *2019 IEEE Inter. Scient.-Pract. Conf. Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S T)*. Kyiv. 2019. P. 236–240. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061554>.

285. Павліха Р., **Гончаренко Т. А.** Next.js проти React.js: Порівняння двох популярних фронтенд-фреймворків. *International Scientific-Practical Conference of young scien. "Build-Master-Class-2023"*. 2023. с. 389-390.

286. Сапаєв В. І., Чернишев Д.О., **Гончаренко Т. А.** Цифровізація міського середовища на основі інтеграції сучасних інформаційних технологій. *International Scientific-Practical Conference of young science "Build-Master-Class-2022"*. 2022. с. 332–333.

287. Любушкіна А., **Гончаренко Т.** Розробка та організація баз даних для будівельних компаній. *International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2022»*. 2022. с. 349–350.

288. **Гончаренко Т.А.**, Шутовський О.М. Застосування технології Big Data для створення розумного цифрового міста, *XXII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2022)»*. 9-14.11 2022. м. Харків. С. 26–27.

289. Liashchenko M., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. BIM development for the healthcare centers. *Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком технологій»*. 2022. С.42–43.
290. **Honcharenko T.**, Savchenko K. Information technologies in the educational process based on integration Google classroom with Moodle. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2021. С.71–72.
291. **Honcharenko T.**, Kovalskyi D. Analysis of possibilities of using cloud technologies in education. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2021. С.73–74.
292. Savenko V., **Honcharenko T.**, Nesterenko I., Klyuyeva V. Organizational genetics and synergetic approach to the effective development of production systemsю *VII International Scientific and Practical Conference London, United Kingdom*. 10-12 February 2021. P. 180–190.
293. **Гончаренко Т.А.**, Грішин М.В., Осадчий В.С. Кібербезпека за допомогою систем штучного інтелекту. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2021. С.47–48.
294. **Гончаренко Т.А.**, Рачек Д.Р., Ладигін Д.Ф. Інформаційне суспільство, шлях у майбутнє. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2021. С.53–54.
295. **Гончаренко Т.А.**, Дем'янов Н.В., Власюк В.В. Моніторинг мов програмування для розробки сучасних програмних продуктів. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2021, С.33–34.
296. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Liashchenko M. Application of software technologies at the stage of urban planning design. *XVIII міжнародна конф. ПИМ-2021*. Харків-Одеса. 2021. С. 54–56.
297. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V. The basic structure of the BIM platform for digitalization of the smart construction. *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scien «Build-Master-Class-2021»*. 2021. P. 332–333.
298. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V. Verification of BIM-models for lifecycle of construction site. *Abstracts of the 8th International scientific and practical conference «Scientific achievements of modern society», Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom*. 2020. P. 36–41.
299. **Гончаренко Т.**, Клевцов М., Гриневиц Д. Інформаційне середовище загальних даних BIM-моделювання для вирішення задач генерального планування. *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 332–333.

300. Ковтун К., Клічес В., **Гончаренко Т.** Впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у навчально-виховний процес. *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 334–335.

301. Лященко М., **Гончаренко Т.**, Лященко Т. Автоматизація проєктування і візуалізація BIM-моделей інженерних мереж в Autodesk Revit, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 336–337.

302. Яворський М., Тугай М., **Гончаренко Т.** Сучасні програми для створення користувацьких інтерфейсів. *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 340–341.

303. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko M. Application of distributed software technologies at the stage of urban planning design. *I науково-практичної конференції «Розподілені програмні системи і технології»*. КНУБА. 2020. С. 26.

304. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko T. Integration of BIM and CALS technologies for information modeling in construction. *XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Prospects for the development of modern science and practice»*. 2020. P. 48–51.

305. Михайленко В., **Гончаренко Т.**, Лященко Т., Лященко М. Впровадження програмних комплексів на основі технології інформаційного моделювання (BIM-технології). *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scientists «Build-Master-Class-2019»*. 2019. P. 450–451.

306. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Lyashchenko M. Information technologies for 3D modeling for construction and architecture. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*. КНУБА. 2019. P. 80–82.

307. **Гончаренко Т.А.** Інформаційна технологія створення інтегрованої цифрової моделі території під забудову. *XXVII Міжнародна Науково-практична Конференція «Microcad-2019»*. Харків. 2019. С. 137–138.

308. **Honcharenko T.** Information modeling and software for Implementation BIM-technology in the construction industry. *Materials of the XV International scientific and practical Conference Modern european science-2019*. SHEFFIELD, UK.

309. Berinstein P. et al. Game development tool essentials. *Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*, 2014. 467 p.

310. Park J. S. Essence-based, goal-driven adaptive software engineering *EEE/ACM 4th SEMAT Workshop on General Theory of Software Engineering (GTSE)*. Washington: IEEE Computer Society. Florence, Italy. 2015. P. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.1109/gtse.2015.12>.

311. Choi T.-M., Chan H., Yue X. Recent development in Big Data Analytics for business operations and risk management. *IEEE Transactions on Cybernetics*. Washington: *IEEE Computer Society*. 2017. Vol 47. P. 81-92. DOI: <https://doi.org/10.1109/tcyb.2015.2507599>.
312. Naur P. and Randell B. Software Engineering. *Report of a conference sponsored by the NATO Science Committee*. Garmisch, Germany. 7th to 11th October 1968. p. 136. URL: <http://homepages.cs.ncl.ac.uk/brian.randell/NATO/nato1968.PDF>.
313. Losif – Lazar A. F., Schaef I., Wasowski A. A Core Language for Separate Variability Modeling. *Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation. Technologies for Mastering Change*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2014. P. 257–272. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-45234-9_19.
314. Oti – Sarpong K., Pärn E. A., Burgess G., Zaki M. Transforming the construction sector: An institutional complexity perspective. *Construction Innovation*. 2021. Vol. 22. P. 361–387. DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-04-2021-0071>.
315. Pohl K. and Metzger A. Software Product Lines. *The Essence of Software Engineering*. Book's Chapter. 2018. P.185-201. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73897-0_11.
316. IfcOwnerHistory. buildingSMART International Standards Server. URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifcutilit yresource/lexical/ifcownerhistory.htm.
317. Eastman C., Lee J.-M., Jeong Y.-S., Lee J.-K. Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18(8) p. 1011-1033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>.
318. The BIM Project Execution Planning Guide and Templates – Version 2.1, Penn State; URL: http://bim.psu.edu/Uses/the_uses_of_bim.pdf.
319. Koo B., Shin B. Applying novelty detection to identify model element to IFC class misclassifications on architectural and infrastructure Building Information Models. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2018. Vol. 5(4). P. 391–400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.03.002>.

Додаток А. Перелік допустимих значень атрибутів для розробки класів ОПП

Назва атрибуту	Псевдонім	Код	Перелік допустимих значень атрибуту
state	Статус об'єкту	0	не визначено
		1	існуючий діючий
		2	існуючий недіючий
		3	на реконструкції
		4	на стадії будівництва (реалізації)
		5	зруйнований (руїни)
		6	законсервований
		7	занедбаний
		8	проектний
		9	проектний на короткостроковий період
		10	проектний на середньостроковий період
		11	проектний на довгостроковий період
		12	запроектований раніше
		13	аварійний
change	Проектна зміна стану	0	не змінюється (зберігається)
		1	реконструкція
		2	модернізація
		3	ліквідація
		4	демонтаж
		5	знесення
		6	закриття
		7	створення у короткостроковий період
		8	створення у середньостроковий період
		9	створення у довгостроковий період
precise	Точність відображення	0	не визначено
		1	схема
		5	5 см
		10	10 см
		20	20 см
		25	25 см
		30	30 см
		50	50 см
		100	1 м
		150	1,5 м
		200	2 м
		250	2,5 м
		500	масштабу 1:500
		1000	масштабу 1:1000
		2000	масштабу 1:2000
		5000	масштабу 1:5000
10000	масштабу 1:10000		

		50000	масштабу 1:50000
		100000	масштабу 1:100000
		200000	масштабу 1:200000
		500000	масштабу 1:500000
		1000000	масштабу 1:1000000
z_kind	Характер встановлення зони	0	відсутня
		1	нормативна
		2	за проектом
eng_type	Тип інженерного забезпечення споруди	0	не визначено
		1	централізоване
		2	автономне
		3	змішане
road_type	Тип дороги	0	не визначено
		1	міжнародна
		2	національна
		3	регіональна
		4	територіальна
		5	обласна
		6	районна
road_category	Категорія автомобільної дороги	0	не визначено
		1	I-а
		2	I-б
		3	II
		4	III
		5	IV
		6	V
road_material	Матеріал покриття проїзної частини автомобільної дороги	0	не визначено
		1	щебенево-мастиковий асфальтобетон
		2	асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий на бітумах, модифікованих полімерами або комплексом добавок
		3	цементобетон
		4	асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий
		5	асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий марки 1, в тому числі на бітумах, модифікованих полімерами або комплексом добавок
		6	кам'яні матеріали, вторинні продукти промисловості, оброблені в'язучими методом змішування в установці чи на дорозі
		7	кам'яні матеріали розклинені
		8	бруківка
		9	грунт, укріплений в'язучим в установці або на дорозі
		10	грунт покращений добавками
parking	Дозвіл на	0	не визначено

	паркування	1	паркування дозволене
		2	без паркування
restr_code	код обмеження щодо використання земельних ділянок	0	не визначено
		01	охоронна зона
		01.01	охоронна зона навколо території та об'єкта природно-заповідного фонду
		01.02	зона охорони пам'ятки культурної спадщини
		01.03	охоронна зона навколо (вздовж) об'єкта транспорту
		01.04	охоронна зона навколо (вздовж) об'єкта зв'язку
		01.05	охоронна зона навколо (вздовж) об'єкта енергетичної системи
		01.06	охоронна зона навколо об'єкта гідрометеорологічної діяльності
		01.07	охоронна зона навколо геодезичного пункту
		01.08	охоронна зона навколо інженерних комунікацій
		01.09	охоронна зона навколо промислового об'єкта
		02	зона санітарної охорони
		02.01	зона санітарної охорони джерел та об'єктів централізованого питного водопостачання
		02.02	округ санітарної охорони курортів
		03	санітарні зони, відстані, розриви
		03.01	санітарно-захисна зона навколо об'єкта
		03.02	санітарна відстань (розрив) від об'єкту
		04	зона особливого режиму використання земель
		04.01	прикордонна смуга
		04.02	зона особливого режиму використання земель навколо військової частини, інших військових формувань
		04.03	зона особливого режиму використання земель навколо військових об'єктів
		05	водоохоронне обмеження
		05.01	водоохоронна зона
		05.02	прибережна захисна смуга вздовж річок, навколо водойм та на островах
		05.03	прибережна захисна смуга вздовж морів, морських заток і лиманів та на островах у внутрішніх морських водах
		05.04	берегова смуга водних шляхів
		05.05	смуга відведення
05.06	пляжна зона		
06	інше обмеження		
06.01	зона особливого режиму забудови		
06.02	територія, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи		
06.03	зона надзвичайної екологічної ситуації		
06.04	умова додержання природоохоронних вимог або виконання визначених робіт		
06.05	авіаційне, радіолокаційне обмеження		
06.06	історико-культурне обмеження		

	<p>07 земельні сервітути</p> <p>07.01 право проходу та проїзду на велосипеді</p> <p>07.02 право проїзду на транспортному засобі по наявному шляху</p> <p>07.03 право прокладення та експлуатації ліній електропередачі, зв'язку, трубопроводів, інших лінійних комунікацій</p> <p>07.04 право прокладати на свою земельну ділянку водопровід із чужої природної водойми або через чужу земельну ділянку</p> <p>07.05 право відводу води із своєї земельної ділянки на сусідню або через сусідню земельну ділянку</p> <p>07.06 право забору води з природної водойми, розташованої на сусідній земельній ділянці, та право проходу до природної водойми</p> <p>07.07 право поїти свою худобу із природної водойми, розташованої на сусідній земельній ділянці, та право прогону худоби до природної водойми</p> <p>07.08 право прогону худоби по наявному шляху</p> <p>07.09 право встановлення будівельних розташувань та складування будівельних матеріалів з метою ремонту будівель та споруд</p> <p>07.10 інші земельні сервітути</p> <p>08 право користування чужою земельною ділянкою для забудови (суперфіцій)</p> <p>09 право користування чужою земельною ділянкою для сільськогосподарських потреб (емфітевзис)</p> <p>10 території та об'єкти природно-заповідного фонду</p> <p>10.01 національні природні парки</p> <p>10.02 біосферні заповідники</p> <p>10.03 регіональні ландшафтні парки</p> <p>10.04 заказники</p> <p>10.05 пам'ятки природи</p> <p>10.06 заповідні урочища</p> <p>10.07 парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва</p> <p>10.08 заповідні зони національних природних парків</p> <p>10.09 зони регульованої рекреації національних природних парків</p> <p>10.10 зони стаціонарної рекреації національних природних парків</p> <p>10.11 господарські зони національних природних парків</p> <p>10.12 заповідні зони біосферних заповідників</p> <p>10.13 буферні зони біосферних заповідників</p> <p>10.14 зони антропогенних ландшафтів біосферних заповідників</p> <p>10.15 зони регульованого заповідного режиму біосферних заповідників</p> <p>10.16 заповідні зони регіональних ландшафтних парків</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		<p>10.17 зони регульованої рекреації регіональних ландшафтних парків</p> <p>10.18 зони стаціонарної рекреації регіональних ландшафтних парків</p> <p>10.19 господарські зони регіональних ландшафтних парків</p> <p>10.20 заповідні зони парків-пам'яток садово-паркового мистецтва</p> <p>10.21 експозиційні зони парків-пам'яток садово-паркового мистецтва</p> <p>10.22 наукові зони парків-пам'яток садово-паркового мистецтва</p> <p>10.23 адміністративно-господарські зони парків-пам'яток садово-паркового мистецтва</p> <p>10.24 охоронні зони територій та об'єктів природно-заповідного фонду</p> <p>10.25 території, зарезервовані з метою наступного заповідання</p> <p>10.26 природний заповідник</p> <p>10.27 ботанічний сад</p> <p>10.28 заповідна зона ботанічного саду</p> <p>10.29 експозиційна зона ботанічного саду</p> <p>10.30 наукова зона ботанічного саду</p> <p>10.31 адміністративно-господарська зона бот.саду</p> <p>10.32 дендрологічний парк</p> <p>10.33 заповідна зона дендрологічного парку</p> <p>10.34 експозиційна зона дендрологічного парку</p> <p>10.35 наукова зона дендрологічного парку</p> <p>10.36 адміністративно-господарська зона дендрологічного парку</p> <p>10.37 зоологічний парк</p> <p>10.38 експозиційна зона зоологічного парку</p> <p>10.39 наукова зона зоологічного парку</p> <p>10.40 рекреаційна зона зоологічного парку</p> <p>10.41 господарська зона зоологічного парку</p> <p>11 території, до складу яких входять земельні ділянки, необхідні для розміщення об'єктів, щодо яких відповідно до закону може здійснюватися примусове відчуження земельних ділянок з мотивів суспільної необхідності</p> <p>12 заборона на зміну цільового призначення земельної ділянки, ландшафту</p> <p>13 заборона на провадження окремих видів діяльності</p> <p>14 обов'язок щодо утримання та збереження пожегозахисних лісових смуг</p>
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Додаток Б. Довідки і акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Мінінфраструктури
Державне підприємство
«Науково-дослідний інститут
будівельного виробництва»
(ДП «НДІБВ»)



Ministry of Infrastructure
THE STATE
«Research institute of building
production»
(NDIBV)

Україна, 03110, Київ,
проспект Лобановського, 51
Тел.: (044) 248-88-89, 520-69-50,
Факс.: (044)275-12-25

51, Lobanovskyi ave.,
Kyiv, 03110, Ukraine
tel +38 (044) 248-88-89, 520-69-50,

“9” 04.2024 № 24/01-10

АКТ впровадження результатів дисертаційної роботи Гончаренко Тетяни Андріївни

Даним актом підтверджуємо те, що результати дисертаційної роботи «Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва» знайшли своє застосування та реалізацію в проектно-вишукувальних роботах та проектах реконструкції, виконання яких здійснює ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва».

За допомогою програмного забезпечення, яке реалізує інформаційну технологію, була виконана обробка великого обсягу даних інженерно-геодезичних вишукувань для об'єктів нового будівництва, а саме: монолітні каркасні будівлі в м Києві за адресами вул. Ярославська, 85 у Подільському районі, вул. Маршала Гречка та просп. Правди у Подільському районі, вул. Васильківська, 10-А у Голосіївському районі, вул. Старонаводницька, 42-44 у Печерському районі, вул. Вишгородська, 45 у Подільському районі м. Києва та об'єкту реконструкції 5-й Полігон твердих побутових відходів в с.Підгірці, що дозволило відтворити моделі існуючих об'єктів території у цифровому вигляді.

Під час обстеження інженерних мереж на відповідність нормативним відстаням між комунікаціями на основі їх цифрових моделей були застосовані автоматизовані методи верифікації, що дозволило виявити відхилення від встановлених параметрів ДБН та сформувавши звіт щодо результатів перевірки.

При розробці варіантів проектних рішень в умовах ущільненої забудови єдиний інформаційний простір дозволив врахувати геодезичні, геологічні, гідрологічні, кліматичні (інсоляція та кількість опадів), санітарні та композиційні параметри для автоматизованої побудови цифрової моделі об'єкта реконструкції, промоделювати його вплив на існуючі міські об'єкти та сформувавши проектну документацію у картографічному вигляді з рівнем деталізації масштабу 1:500.

Зазначені результати впровадження дисертаційної роботи засвідчують їх практичну цінність, тому вважаємо, що Гончаренко Тетяна Андріївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

**Перший заступник
директора з наукової роботи**
д.т.н., с.н.с.



Петро Григоровський
Петро ГРИГОРОВСЬКИЙ



« ЦЕНТРБУДПРОЕКТ. »
Товариство з обмеженою відповідальністю



Вих. №19/03
від «19» березня 2024 р.

ДОВІДКА

про практичне впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Гончаренко Тетяни Андріївни
«Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для
автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва»
в діяльність ТОВ "ЦЕНТРБУДПРОЕКТ."

Під час виконання наукових досліджень з вересня 2023 року Гончаренко Тетяна Андріївна плідно співпрацює з нашим підприємством ТОВ "ЦЕНТРБУДПРОЕКТ." з питань розробки та впровадження інформаційної технології та програмного комплексу для аналітичної обробки даних та розробки варіантів організації територій проектів будівництва.

Цифрові моделі існуючих об'єктів міської забудови та об'єктів просторового планування розроблені з урахуванням багатопараметричного моделювання та особливих вимог замовника в програмному середовищі Autodesk Revit, що дозволило в автоматизованому режимі створювати проектну (*стадія П*) та робочу документацію (*стадія Р*) проектів генерального планування з урахуванням директивних вимог та ДБН при реконструкції будівельних об'єктів, виконавцем яких є наше підприємство.

Практичне використання програмного комплексу співробітниками ТОВ "ЦЕНТРБУДПРОЕКТ." дозволило значно скоротити час на обробку великого обсягу інформації з різних джерел та у різній формі подання, яке підприємство при виконанні проекту отримує від замовника, генпідрядника та субпідрядників. Зручний інтерфейс користувача забезпечує надійність і зрозумілість введення та редагування інформаційних даних, автоматизовані методи моделювання, верифікації та валідації інформації дозволяють не тільки опрацювати декілька варіантів проекту, а дозволяють виявити колізії та помилки у проектних рішеннях.

Засвідчуємо впровадження наукових та практичних результатів дисертаційної роботи Гончаренко Т.А. в діяльність ТОВ "ЦЕНТРБУДПРОЕКТ".

Генеральний директор



Владислав ГОЦ

Адреса: 04074, м. Київ, вул. Лугова, 13, тел./факс: + 38 044 585 34 74
код ЄДРПОУ 36993709, п/р UA 82 380805000000026007389379 в АТ РАЙФАЙЗЕН БАНК АВАЛЬ
м. Київ, МФО 380805, ІПН 369937026540, свідоцтво №100346205



ТОВ «Альтіс-Констракшн»

ЄДРПОУ 37394854 • Тел. +380 (44) 492-77-66
Юридична адреса: вул. Качалова, 5В • м. Київ • 03146 • Україна
МФО 322946, № рахунку: 26001300180698 у ПАТ «Банк Форум»
Http://www.altis.ua • E-mail: office@altis.ua

№ 28/02-24
«28» лютого 2024 р.

ДОВІДКА

про практичне впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Гончаренко Тетяни Андріївни
**«Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища
для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва»**
за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології
в діяльність ТОВ «Альтіс-Констракшн»

В процесі виконання наукових досліджень з листопада 2022 року Гончаренко Т.А. плідно співпрацює з департаментом управління проектами та проектним відділом нашого підприємства.

Для розробки цифрових моделей об'єктів просторового планування здобувачці на опрацювання були надані вхідні дані з різноманітних джерел інформації в текстовому та графічному вигляді. В результаті було сформоване єдине інформаційне середовище обробки даних, що дозволило забезпечити координацію роботи учасників проектної групи й усунути проблеми, пов'язані з передачею та обміном інформацією у цифровому вигляді між інженерними підрозділами нашого підприємства. Розроблені програмні модулі працюють в BIM-орієнтованому програмному комплексі Autodesk Civil 3D та автоматизують всі етапи розробки детального плану території.

Наукові результати дисертаційної роботи були застосовані при виконанні таких проектів: реконструкція та забудова території в межах будинків №91 та №93 на вул. Червоноармійській, №22 на вул. Предславинській, №11-А літ "Б" на вул. Ульянових, №7/20 на вул. Предславинській у Печерському районі м. Києва та реконструкція перону для повітряних суден термінального комплексу «D» в ДП МА «Бориспіль». Зручні інструменти візуалізації та моделювання дозволили опрацювати та представити декілька варіантів проектних рішень планувальної організації території для погодження з замовниками вищеперерахованих проектів та сприяли визначенню оптимального варіанту із запропонованих.

Підтверджуємо впровадження наукових результатів та практичну цінність дисертаційної роботи Гончаренко Т.А. в діяльність ТОВ «Альтіс-Констракшн».

Директор
М.П.



Максим Забігайло

Максим ЗАБІГАЙЛО



ІНСТИТУТ МІСЦЕВОГО РОЗВИТКУ

КОНСУЛЬТАТИВНІ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ЕКСПЕРТНІ ПОСЛУГИ

М. КИЇВ, ВУЛ. ІГОРІВСЬКА 14А, ТЕЛ.: (044) 428-76-10

Вих. № 15 від «01» березня 2024 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Гончаренко Тетяни Андріївни

«Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва»

за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

Даною довідкою підтверджуємо, що результати наукових досліджень Гончаренко Тетяни Андріївни практично апробовані у «Програмі відновлення критичної муніципальної інфраструктури в Україні», започаткованою у 2022 р. та триваючою донині (далі – «Програмі»), у якій ІНСТИТУТ МІСЦЕВОГО РОЗВИТКУ виступив координатором та виконавцем. Співпраця Т.А. Гончаренко з фахівцями Інституту стосувалась залучення її наукового доробку до процесу обґрунтування рішень у складі «Програми». Зі складу цього доробку, що був використаний у діяльності Інституту, варто підкреслити наступні компоненти, що були спрямовані на вирішення таких завдань:

А) запровадженій авторкою новий науково-прикладний підхід формування наборів ключових атрибутів по основним класам ОПП (земельні ділянки та території, будівлі та споруди, дороги, інженерні комунікації, елементи благоустрою та планувальні обмеження) дозволив на 9,12 % знизити трудомісткість цифрового опрацювання характеристик об'єктів (від первинної робочої документації Проєкту – до її остаточно узгодженого варіанту);

В) авторський моделє-орієнтований підхід створення єдиного інформаційного середовища для об'єктів просторового планування (ОПП) у складі проєктів «Програми», що дозволив забезпечити необхідну універсалізацію при побудові модулів цифрового, гео-інформаційного та BIM-опрацювання змісту виконуваних завдань та проєктів у складі «Програми», а також забезпечив належні умови для внесення коригувань щодо цифрових характеристик ОПП за результатами обробки на окремих етапах життєвого циклу об'єктів, відповідно до

різнобічних інтересів різних стейкхолдерів щодо зазначених об'єктів як складових «Програми».

С) багаторівнева логіко-семантична схема цифрового моделювання будівельного проєкту разом із запровадженням авторкою форматом «цифрового двійника» міського об'єкту дозволили розширити можливості інформаційних технологій (зокрема, BIM-технологій) у такий спосіб, щоб забезпечити щільний цифровий зв'язок між процесом узгодження характеристик об'єктів територіального планування та цифровими індикаторами об'єктів як складовими «Програми».

За допомогою запроваджених авторкою інформаційних технологій та прикладних інструментальних засобів було суттєво скориговано технічний зміст та масштаби охоплення ефективності інвестиційних проєктів, що реалізовувались для відновлення зруйнованої/ушкодженої інфраструктури відібраних населених пунктів Київської області.

Позитивні підсумки використання наукових та прикладних розробок Гончаренко Т.А. у практику підготовки, інформаційного забезпечення та адміністрування процесами у складі охопленої Інститутом «Програми» дають керівництву Інституту підстави оцінити рівень авторських інновацій як такий, що відповідає науковому фаховому рівню доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології.

**Виконавчий директор,
доктор економічних наук, доцент**



Тормосов Р.Ю.



Architectural
Construction
Innovations

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ НОВАЦІЇ"**

код ЄДРПОУ 30552654 04080, м. Київ, вул. Новокостянтинівська, 4Б
<https://www.bau.com.ua/f/aci/> тел. +380 44 537 6444

№ 24-н від «05» березня 2024 р.

Проректору
з наукової роботи та
інноваційного розвитку КНУБА
к.т.н., с.н.с. Олександрю КОВАЛЬЧУКУ

ДОВІДКА

про впровадження в практику наукових результатів, одержаних у дисертаційній роботі **Гончаренко Тетяни Андріївни** «Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

Повідомляємо про позитивні підсумки взаємодії нашої компанії із здобувачкою ступеня доктора технічних наук в КНУБА Гончаренко Тетяною Андріївною. Компанія ознайомилась із суто інноваційним науково-прикладним доробком здобувачки Гончаренко Т.А., що був сформований нею при підготовці дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю «Інформаційні технології» на тему: «Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва». В складі цього доробку компанією при підготовці технічних обґрунтувань проекту «ЖК Парус Ріверсайд», який впроваджувався компанією сумісно із інвестиційною компанією «Інтергал-буд» в м.Ужгороді, було використано наступні компоненти доробку здобувачки:

✓ *цифровий двійник проекту* – інноваційна науково-прикладна розробка, яка дозволила здійснювати візуалізацію просторових параметрів об'єктів та території забудови в складі проекту разом з послідовним коригуванням цих параметрів в тимчасовій

структурі адміністрування проектом. Розроблений авторкою цифровий двійник із використанням інформаційної системи «Розумне місто» сприяв раціоналізації зон просторового планування міської території в межах проекту, що в свою чергу, може бути використане при створенні ІС «Розумне місто»;

✓ уніфікована інформаційна модель об'єкту просторового планування, яка забезпечила інтегрування інформації про гео-просторові, кадастрові, технологічні та економічні-управлінські характеристики об'єктів в складі проекту та наступну цифрову трансформацію цієї інформації до такого формату, який забезпечив узгодження інтересів інвестора, замовника та забудовника з інтересами приватних забудовників (фізичних осіб-покупців житла).

Зазначені розробки авторки впроваджувались в існуючу практику компанії «Архітектурно-будівельні новації» впродовж 2021-2023 рр. застосуванням інформаційних технологій інноваційного змісту в регламент адміністрування будівельними інвестиційними проектами. Результатом впровадження розробок автора стало суттєве поліпшення рівня достовірності та діджитал-адаптованості управлінських рішень щодо проекту будівництва, що дозволило скоротити поточні витрати девелопменту проекту на 4,2% та скоротити тривалість обґрунтувань проектно-кошторисної документації проекту на 1,5місяця.

Зазначена продуктивність використання доробку здобувачки свідчить про значну практичну цінність науково-прикладних результатів, одержаних Гончаренко Т.А. при підготовці докторської дисертації.

Вважаємо, що позитивна думка компанії про фахову компетентність Гончаренко Т.А. в рамках застосованого нею науково-прикладного доробку, буде важливим аргументом для прийняття рішення щодо присудження Гончаренко Т.А. наукововго ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології.

Довідка видана без фінансових зобов'язань перед автором.

Генеральний директор
К.Т.Н.



Архіпенко С.М.



ТОВ «АЛЬФА-СЕРВІС»
 Код ЄДРПОУ 22965175,
 03048, м. Київ, в
 ул. Ернста, 16б, прим. 201
 тел.. (044) 2386511,
 E-mail:alfa-service@meta.ua

Про досвід співпраці інвестиційно-будівельної компанії ТОВ «Альфа-сервіс» із здобувачкою КНУБА Гончаренко Т.А.

Маємо повідомити, що в рамках діючої програми з 2020 по 2022 рр. компанією «Альфа-сервіс» для цифровізації процесів управління та цифрового реінжинірингу бізнес-процесів адміністрування проектами інвестування та будівництва було залучено інноваційні пакети прикладних програм та компоненти інформаційних технологій, які були розроблені Гончаренко Тетяною Андріївною при підготовці нею дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології».

Для потреб цифрового супроводу участі компанії, коригування та оптимізації рішень в девелоперських будівельних проєктах ЖК «Еко-Дрім» (м. Київ) та ЖК «Фортеця Люкс» (м. Чернівці) було використано обґрунтовані здобувачкою розробки, такі як:

- інформаційна технологія генералізації, аналізу та коригування просторової інформації в межах девелоперського будівельного проєкту на основі багатовимірних моделей просторових об'єктів. Технологія спирається на запроваджений авторкою метод валідації інформаційних моделей ОПП методом багатоаспектної фасетної класифікації, в результаті сформовано п'ять фасет, що містять набори характеристик для кожної моделі ОПП: предмет перевірки, тип інформації, етап життєвого циклу, діапазон застосування, джерело вимог. Особливістю запропонованого методу є його відкритість та адаптивність, що дозволяє додавати нові фасети та розширювати параметри перевірок інформаційних моделей ОПП.;

- системотехнічна цифрова модель будівельного проєкту в термінах агрегування сутностей. З використанням зворотного об'єктно-суб'єктного зв'язку ця модель передбачає вплив набору умов проєктування та обмежень на сам об'єкт і виступає цифровим базисом для автоматизації розробки варіантів проєктів планувальних рішень та параметризації проєкту. Модель реалізує цифрові організаційні перетворення в системі адміністрування девелоперським проєктом. Рекомендації для керівників проєктів з моніторингу

реалізації проекту розроблені з використанням BIM-логіки у зв'язку з активним розвитком використання інформаційних технологій та інформації про об'єкт протягом усього життєвого циклу за рахунок використання BIM-моделей.

- змістовно-концептуальна та цифрова архітектура інформаційної системи органів виконавчої влади для забезпечення інтеграції та спільного використання базових та тематичних просторових даних, яка спиралась на інтеграцію BIM-технологій та GIS-технологій та забезпечувала вдосконалення просторових рішень щодо об'єктів будівництва та територіальної реновації через використання створених автором модулів: «збір даних», «3D-моделі», «сумісність і верифікація», «просторовий аналіз», «коригування та нові пропозиції» «моніторинг та управління», «впровадження».

Практика співпраці Гончаренко Т.А. з компанією «Альфа-сервіс» довела доцільність та продуктивність застосування новітніх інформаційних технологій (насамперед, цифрових двійників об'єктів просторового планування в складі девелоперського проєкту) до здійснення продуктивного адміністрування проєктами будівництва та щодо успішної реорганізації команд управління будівельними проєктами в контексті цифровізації будівельної галузі на основі використання BIM-технологій.

Розробки Гончаренко Т.А. та позитивні підсумки застосування новітніх інформаційних технологій для виконання завдань раціоналізації характеристик геопросторового планування та системи адміністрування девелоперськими проєктами створюють враження про рівень фахових наукових компетенцій здобувачки як такий, що відповідає рівню доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології».

**Заступник директора
ТОВ «АЛЬФА-СЕРВІС»**



Кравченко С.М.



ТОВ «Фомальгаут-Полімін»

Ректору
Київського національного університету
будівництва і архітектури
д.е.н., професору Кулікову П.М.

Вих. № 28-24 від 28.02.2024

Повідомлення про результати співпраці холдингової компанії «Фомальгаут-Полімін» із здобувачкою ступеня доктора технічних наук
Гончаренко Т.А.

Даною довідкою підтверджується впровадження в діяльність ХК «Фомальгаут-Полімін» результатів дисертаційного дослідження Трач Ю.П., одержаних здобувачкою при виконанні досліджень за темою «Науково-теоретичні засади застосування відходів видобутку нерудних корисних копалин в заходах санації навколишнього середовища» та застосованих компанією «Фомальгаут-Полімін» для впровадження екологічного спрямованого управління діяльністю організацій-стейкхолдерів будівництва в рамках комплексних проєктів ревіталізації територій та їх наступної забудови.

Компанія «Фомальгаут-Полімін» і власна ТМ POLIMIN – національний лідер серед українських виробників сухих будівельних сумішей. Промислова група компаній FOMALGAUT GROUP з виробничими потужностями понад 370 тис.т. в рік сухих будівельних сумішей протягом 27 років виробляє інноваційні продукти та комплексні рішення для будівельного ринку. Важливим інноваційним компонентом діяльності компанії є її участь у підготовці та впровадженні проєктів територіального оновлення (ревіталізації). У рамках підготовки та впровадження проєкту «Ревіталізація території на ґрунті цифрових технологій та екологічно-орієнтованого менеджменту підприємств» було використано наступні результати досліджень Гончаренко Т.А.:

✓ системотехнічні засоби цифрового моделювання процесів та структури адміністрування будівельного проєкту ревіталізації території в термінах агрегування: "план-мета", "об'єкт-проєкт", "процес-час", "технологія-економіка", "система-ресурс", "комплекс-конвергенція" – зазначений науковий результат Гончаренко Т.А. було використано для визначення провідних

отриманих з різних інформаційних джерел для узгодженості прийняття управлінських рішень;

✓ BIM-орієнтований програмний комплекс – з його використанням фахівці в структурі адміністрування проєктом територіального відновлення (ревіталізації) змогли належним чином налаштувати можливості інформаційних технологій до змісту регулювання характеристик ОПП у відповідності до директивних вимог інституційних учасників та стейкхолдерів зазначеного проєкту. Окремі модулі у складі комплексу програм забезпечують додаткове опрацювання прихованого потенціалу розвитку земельної ділянки в аспекті змісту завдань ревіталізації та територіальної модернізації для розвитку міських територій.

Успішне застосування результатів досліджень з науково-прикладного доробку дисертантки Гончаренко Т.А. дозволяє стверджувати, що розроблені авторкою наукові засади та прикладні розробки дозволяють на фаховому рівні, що відповідає рівню доктора, здійснювати супровід проєктів територіальної ревіталізації із застосуванням сучасних інформаційних технологій та пакетів прикладних програм для комплексного аналізу та оцінювання стану природних об'єктів, що потребують процесів санації, із одночасними експериментальними дослідженнями мінералогічного складу локально розміщених відходів видобутку нерудних корисних копалин.

Директор
ТОВ «Фомальгаут-Полімін»
к.т.н.



С. Єршов

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"СПЕЦБУДПРОЕКТ"

28.02.2024 вих. №16-1

Проректору з наукової роботи
та інноваційного розвитку КНУБА
к.т.н., ст.н.сп. Ковальчуку О.Ю.

*Про впровадження наукових результатів Гончаренко
Тетяни Андріївни в практику діяльності будівельної компанії
«Спецбудпроект».*

Здобувачка КНУБА Гончаренко Т.А. у 2019-2022 рр. плідно співпрацювала з нашою компанією, яка в межах власного бізнес портфеля проектів реалізовувала заходи переходу на засади цифрового адміністрування проектами із використанням сучасних інформаційних технологій.

В процесі дослідження було впроваджено авторські розробки щодо розвитку інформаційних технологій до процесів агрегування та генералізації територіально розподіленої просторової інформації від різних суб'єктів формування інформаційних ресурсів.

В діяльності компанії «Спецбудпроект» використано наступні розробки Гончаренко Т.А. як здобувачки ступеня доктора технічних наук:

- модель «цифровий двійник міського об'єкту»;
- багатовимірні моделі об'єктів просторового планування;
- моделі аналітичного опису та обробки просторової та атрибутивної інформації щодо ОПП.

Зазначені авторські розробки дозволили для потреб компанії «Спецбудпроект» створити цілісний цифровий комплекс формалізованої обробки просторової та атрибутивної інформації з різних державних реєстрів, галузевих кадастрових та інформаційними служб, забезпечити при цьому міждисциплінарне інтегрування даних з різних джерел для формування повної інформації про об'єкти просторового планування та подання їх у цифровій картографічній формі для автоматизованої розробки проектів планувальних рішень.

Підсумки використання компонент доробку Гончаренко Т.А.
- методологічні складові, інформаційна технологія та комплекс прикладних програм надають замовнику, інвестору, девелоперу та генеральному проектувальнику як інституційним учасникам проектів продуктивні можливості діджитал-адаптованого та зручно формалізованого відслідковування цифрових змін в проектах – від стадій «первинне техніко-економічне та бізнес-планування», «пре-старт-проект» - до стадій «Проект».

Такі позитивні підсумки впровадження результатів наукової діяльності здобувачки КНУБА Гончаренко Т.А. свідчать про практичну цінність її наукового доробку та про фахову зрілість здобувача, яка, на думку керівництва компанії, відповідає рівню наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології..

Генеральний директор



Степан К. В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор з наукової роботи та
 інноваційного розвитку,
 кандидат технічних наук,
 старший науковий співробітник
 Київського національного
 університету будівництва і
 архітектури
 Олександр КОВАЛЬЧУК
 « 23 » лютого 2024 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів наукових досліджень дисертаційної роботи
 Гончаренко Тетяни Андріївни

«Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології у навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури

Складено комісією у складі:

- Голова комісії: Терентьев О.О. – в.о. декана факультету автоматизації і інформаційних технологій, голова науково-методичної комісії ФАІТ, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, доктор технічних наук, професор, гарант 126 спеціальності рівня PhD;
- Члени комісії: Ачкасов І.А. – гарант 122 спеціальності рівня PhD, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій;
 Бородавка Є.В. – гарант 126 спеціальності рівня магістр, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження результатів дисертаційного дослідження Гончаренко Т.А. на тему: **«Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва» у навчальний процес факультету автоматизації і інформаційних технологій КНУБА.**

Комісія розглянула такі матеріали:

1. Дисертаційну роботу Гончаренко Т. А. «Методологічні основи

формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва».

2. Робочі програми та навчально-методичні матеріали освітніх компонент «Комп'ютерно-аналітична діяльність», «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Архітектура інформаційних систем» та «Спецкурс за науковою спеціальністю».

За результатами роботи комісії встановлено:

Розроблені в дисертаційній роботі Гончаренко Т. А. науково-теоретичні положення та практичні результати впроваджені в навчальний процес та використовуються при підготовці для проведення лекцій та лабораторних робіт для здобувачів трьох освітніх рівнів – бакалавр, магістр, PhD спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки» та 126 «Інформаційні системи та технології» освітніх компонент «Комп'ютерно-аналітична діяльність», «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Архітектура інформаційних систем» та «Спецкурс за науковою спеціальністю».

Впровадження матеріалів дисертаційного дослідження Гончаренко Т.А. в навчальний процес факультету автоматизації і інформаційних технологій дало можливість адаптувати вказані освітні компоненти відповідно до сучасних тенденцій розвитку теорій інтелектуальної обробки даних, інформаційних систем та технологій в будівництві, поглибити їх теоретико-методичні основи і, як наслідок, підвищити якість підготовки здобувачів.

Голова комісії:

д.т.н., професор,
в.о. декана ФАІТ



Олександр ТЕРЕНТЬЄВ

Члени комісії:

д.т.н., професор,
професор
кафедри інформаційних технологій



Ігор АЧКАСОВ

д.т.н., професор,
професор кафедри
інформаційних технологій
проективання та
прикладної математики



Євгеній БОРОДАВКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор з наукової роботи та
 інноваційного розвитку,
 кандидат технічних наук,
 старший науковий співробітник
 Київського національного
 університету будівництва і
 архітектури
 Олександр КОВАЛЬЧУК
 « 23 » жовтня 2024 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційних досліджень здобувача
Гончаренко Тетяни Андріївни

Цим актом підтверджується, що наукові результати дисертаційної роботи «Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проектах будівництва» використано при виконанні таких науково-дослідних робіт:

- 1) «Інтегрована обробка просторової інформації на основі багатовимірних моделей даних» (№ ДР 0120U103463),
- 2) «Інформаційні технології комп'ютерного моделювання для вирішення задач генерального планування» (№ ДР 0120U104018),
- 3) «Інтеграція сучасних інформаційних технологій для створення цифрових двійників міських об'єктів» (№ ДР 0123U100879).

НДР виконувались з липня 2020 р. по березень 2024 р. на кафедрах інформаційних технологій проектування та прикладної математики та інформаційних технологій факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України під керівництвом д.т.н. професора Михайленка В.М. та к.т.н. доцента Гончаренко Т.А.

В.о. декана ФАІТ
 д.т.н., професор

Олександр ТЕРЕНТЬЄВ

Додаток В. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті у періодичних виданнях, індексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science

1. **Honcharenko T.**, Akselrod R., Shpakov A., Khomenko O. Information system based on multi-value classification of fully connected neural network for construction management, *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2023. № 12(2). P.593–601. (**Scopus, Q2**, ISSN: 2089-4872).
2. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Chupryna I., Shpakova H. Integration of Data Flows of the Construction Project Life Cycle to Create a Digital Enterprise Based on Building Information Modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2022. Vol.1. P. 40–50. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2250-2459).
3. Ryzhakova G., Malykhina O., Pokolenko V., Rubtsova O., Homenko O., Nesterenko I., **Honcharenko T.**, “Construction Project Management with Digital Twin Information System”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2022, Vol. 12, Issue 10, P. 19-28. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2250-2459)
4. **Honcharenko T.**, Ryzhakova G., Borodavka Ye., Ryzhakov D., Savenko V., Polosenko O. Method for representing spatial information of topological relations based on a multidimensional data model. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021. Vol.16(7). P. 802–809. (**Scopus, Q3**, ISSN: 1819-6608).
5. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Liazschenko T. Integrated processing of spatial information based on multidimensional data models for general planning tasks. *International Journal of Computing*. 2021. Vol.20(1). P.55–62 (**Scopus, Q3**, ISSN: 1819-6608).
6. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Malykhina O., Druzhynina I., Gorbatyuk I. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2021. Vol. 11(5). P.1306–1312. (**Scopus, Q3**, ISSN: 2088-5334).
7. Riabchun Y., **Honcharenko T.**, Honta V., Chupryna K., Fedusenko O. Methods and means of evaluation and development for prospective students’ spatial awareness, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, Vol. 8(11). P.4050–4058. (**Scopus, Q4**, ISSN: 2278-3075).
8. Terentyev O., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. Multidimensional Space Structure for Adaptable Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2019. Vol.8(3). P.7753–7758 (**Scopus, Q4**, ISSN: 2277-3878)
9. Mihaylenko V., **Honcharenko T.**, Chupryna K., Andrashko Yu., Budnik S. Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on

Multidimensional Information Objects. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019. Vol.8(6). P.3934–3940. (**Scopus, Q4, ISSN: 2249-8958**)

10. Kuchansky A., Andrashko Yu., Biloshchytskyi A., Danchenko O., Parionov O., Vatskel I., **Honcharenko T.** The method for evaluation of educational environment subjects' performance based on the calculation of volumes of m-simplexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/4 (92). P. 15–25. (**Scopus та Web of Science, Q3, ISSN: 1729-3774**).

Статті в наукових фахових виданнях України категорії Б, що входять до наукометричних баз даних Index Copernicus, BASE

11. **Гончаренко Т. А.** Архітектура програмної системи на основі концепції рефлексивної адаптації, *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 54. С. 69–76.

12. Савенко В. І., Демидова О. О., Шатрова І. А., **Гончаренко Т. А.**, Лященко Т. О. Еволюція розвитку організації і кадрового менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 53. С. 91–99.

13. **Гончаренко Т. А.** Метод визначення рівнів деталізації просторових об'єктів у складі тривимірної інформаційної моделі міської території. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. 2022. № 1–2 (7–8). С. 30–43.

14. **Гончаренко Т. А.** Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51. С. 87–93.

15. Савенко В. І., **Гончаренко Т. А.**, Нестеренко І. С., Шатрова І. А., Демидова О. О. Якість управління, його вимірювання і поліпшення. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 50. С. 52–59.

16. **Гончаренко Т. А.** BIM-технології як інструментарій для створення інформаційної моделі життєвого циклу об'єкта будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 47. С. 83–88.

17. **Гончаренко Т. А.**, Михайленко В. М., Доля О. В. Інваріантність інформаційного моделювання прибудинкової території протягом життєвого циклу. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2021. № 1(5). С. 6–15.

18. **Гончаренко Т. А.**, Михайленко В.М. Інструменти інформаційного забезпечення визначення прихованого потенціалу розвитку міських територій для реалізації проєктів генерального планування комплексної житлової забудови. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 44. С. 70–77.

19. **Гончаренко Т. А.** Структура методології СІМ для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції BIM та GIS технологій.

Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Інформатика та моделювання. 2020. № 2 (4). С. 42–53.

20. **Гончаренко Т. А.** Інтеграційна модель життєвого циклу території будівлі на основі BIM, *Управління розвитком складних систем*, 2020. № 43. С. 83–90.

21. **Гончаренко Т. А.** Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 42, С. 93–101.

22. **Гончаренко Т. А.**, Міхайленко В.М. Метод багатоаспектної класифікації для верифікації багатовимірних інформаційних моделей об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*, 2020. № 41. С. 61–67.

23. **Гончаренко Т. А.** Об'єктно-орієнтоване моделювання просторових об'єктів генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 38. С. 64–70.

24. **Гончаренко Т. А.** Верифікація інформаційних моделей об'єктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 39. С. 65–70.

25. **Гончаренко Т.А.**, Міхайленко В.М. Застосування методів багатовимірної аналізу даних для моделювання території під забудову. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2019. № 28 (1353). С. 5–15.

Статті у фахових закордонних виданнях

26. Kyivska K., Borodavka Y., Tsiutsiura S., **Honcharenko T.** Information technology of automation of life cycle of construction objects. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. 2021. Vol.12. No.13. P. 152–158.

27. **Honcharenko T.**, Chupryna Y., Ivakhnenko I., Zinchenco M., Tsyfra T. Reengineering of the Construction Companies Based on BIM-technology. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(8). P. 4166–4172.

28. Kulikov P., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Ryzhakov D., Malykhina O. OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol. 9(5). P. 8670-8676.

29. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Information Simulation of Life Cycle of Building Territory at Master Planning Based on BIM-model. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 8(10). P. 7337-7343.

30. **Honcharenko T.**, Borodavka Y., Dolya E., Fedusenko O., Domanetska I. Comprehensive Information Support of Urban Planning on BIM-based Design. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. 9(5). P. 9197- 9203.

31. Ryzhakova G., Chernyshev D., Druzhynin M., Petrenko H., Savchuk T., **Honcharenko T.** Methodological Regulation of Business Processes Reengineering in the Modern Construction Development System. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020. Vol. 8(5). P. 5046-5052.
32. **Honcharenko T.**, Andrashko Yu., Fedusenko O., Domanetska I., Olkhova N. The Method of Generalizing Spatial Information into a Single Multidimensional Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4), P. 8426-8432.
33. Ryzhakova G., Ryzhakov D., Petrukha S., Ishchenko T., **Honcharenko T.** The Innovative Technology for Modeling Management Business Process of the Enterprise. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8(4), P. 4024-4033.

Монографія

34. Савенко В. І, **Гончаренко Т.А.**, Нестеренко І., Шатрова І., Пальчик С. Вдосконалення методів розрахунків сітьових графіків в будівництві на основі теорії графів та інформаційних технологій, THEORETICAL AND SCIENTIFIC FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 2022. 543 p. DOI:10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1.

Матеріали міжнародних наукових конференцій, індексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science

35. **Honcharenko T.**, Solovei O. Optimal bin number for histogram binning method to calibrate binary probabilities. *CEUR Workshop Proceedings, 2023. 3st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023*. Vol.3628. P.126–135, (*Scopus*, ISSN: 1613-0073).
36. Chernyshev D., Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Petrenko A., Chupryna I., Reznik N. Digital Administration of the Project Based on the Concept of Smart Construction. *Lecture Notes in Networks and Systems*.2023. Vol.495. P.1316–1331, (*Scopus Q4*, ISSN: 2367-3370).
37. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Terentyev O., Predun K., and Rosynskyi A., Information system of multi-stage analysis of the building of object models on a construction site, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023*. Vol.1254 (1). № 012075. (*Scopus*, ISSN: 1755-1307).
38. Ryzhakova G., **Honcharenko T.**, Predun K., Petrukha N., Malykhina O., Khomenko O., Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System, 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 2023. P. 208–213 (*Scopus*).
39. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Savenko V., Balina O., Bezklubenko I., Liashchenko T., Construction Site Modeling Objects Using Artificial Intelligence

and BIM Technology: A Multi-Stage Approach, *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2023. P. 174–179. (**Scopus**).

40. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Sapaiev V., Delembovskyi M. Digital Object Detection of Construction Site Based on Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems. *CEUR Workshop Proceedings. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*. 2022. Vol. 3039. P. 267–279. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

41. Chernyshev D., Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Haman H., Ivanova T.; Zinchenko M. Integration of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Systems to Create a Digital Twin of the Construction Site. *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2022. P. 36–39. (**Scopus ma Web of Science**, ISBN 979-835033504-0).

42. Dolhopolov S., **Honcharenko T.**, Dolhopolova S., Riabchun O., Delembovskyi M. Use of Artificial Intelligence Systems for Determining the Career Guidance of Future University Student. *2022 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*, 2022. (**Scopus**, ISBN 978-166546790-2)

43. **Honcharenko T.**, Shpakova H., Predun K., Zinchenco M., Liashchenko M., Savenko V. Smart Information System for Creating Digital Twins of Construction Project. *2022 IEEE 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. 2022. (**Scopus**, ISBN: 978-166546790-2)

44. **Honcharenko T.**, Terentyev O., Gorbatyuk I. Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, 344, p.3-15, DOI: [10.1007/978-3-030-89902-8_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89902-8_1) (**Scopus Q4**, ISSN:2367-3370)

45. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Serpinska O., Savenko V., Kysliuk D., Orlyk Y. Digital transformation of the construction design based on the Building Information Modeling and Internet of Things. *1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021 CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 3039. P. 267–279. (**Scopus**, ISSN: 1613-0073)

46. **Honcharenko T.**, Kyivska K., Liashchenko M., Terentyev O., Gorbatyuk I., Dolya E. Mathematical Modeling of Online Transaction Processing System for Design of Building Territory. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021 - Proceedings*. 2021. P. 552–556 (**Scopus ma Web of Science**, ISBN: 978-166540094-7).

47. **Honcharenko T.**, Tsiutsiura S., Kyivska K., Balina O., Bezklubenko I. Transform approach for formation of construction project management teams based on building information modeling. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 11–21 (**Scopus**, ISSN: 1613-0073).

48. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Borodavka Y., Dolya E., Savenko V. Information tools for project management of the building territory at the stage of

urban planning. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2851. P. 22–33 (*Scopus*, ISSN: 1613-0073).

49. Kuchansky A., Biloshchytskyi A., Andrashko Yu., Biloshchytska S., **Honcharenko T.**, Nikolenko V. Fractal time series analysis in non-stationary environment, *2019 IEEE Inter. Scient.-Pract. Conf. Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S T)*. Kyiv. 2019. P. 236–240. (*Scopus та Web of Science*, ISBN 978-172814184-8).

Тези доповідей наукових та науково-практичних конференцій

50. Павліха Р., **Гончаренко Т. А.** Next.js проти React.js: Порівняння двох популярних фронтенд-фреймворків, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2023"*, 2023, P. 389–390.

51. Сапаєв В. І., Чернишев Д. О., **Гончаренко Т. А.** Цифровізація міського середовища на основі інтеграції сучасних інформаційних технологій. *International Scientific-Practical Conference of young science "Build-Master-Class-2022"*, 2022, P. 332–333.

52. Любушкіна А., **Гончаренко Т.** Розробка та організація баз даних для будівельних компаній. *International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2022»*, С. 349–350.

53. **Гончаренко Т. А.**, Шутовський О. М. Застосування технології Big Data для створення розумного цифрового міста, *XXII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2022)»*, 9-14.11 2022, м. Харків, С. 26–27.

54. Liashchenko M., **Honcharenko T.**, Lyashchenko T. BIM development for the healthcare centers. *Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком технологій»*. 2022. С.42–43.

55. **Honcharenko T.**, Savchenko K. Information technologies in the educational process based on integration Google classroom with Moodle. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.71–72.

56. **Honcharenko T.**, Kovalskyi D. Analysis of possibilities of using cloud technologies in education. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.73–74.

57. Savenko V., **Honcharenko T.**, Nesterenko I., Klyuyeva V. Organizational genetics and synergetic approach to the effective development of production systems, VII International Scientific and Practical Conference London, United Kingdom, 10-12 February 2021, P. 180–190.

58. **Гончаренко Т. А.**, Грішин М. В., Осадчий В.С. Кібербезпека за допомогою систем штучного інтелекту. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.47–48.

59. **Гончаренко Т. А.**, Рачек Д. Р., Ладигін Д. Ф. Інформаційне суспільство, шлях у майбутнє. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021, С.53–54.
60. **Гончаренко Т. А.**, Дем'янов Н. В., Власюк В. В. Моніторинг мов програмування для розробки сучасних програмних продуктів. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2021. С.33–34.
61. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Liashchenko M. Application of software technologies at the stage of urban planning design. *XVIII міжнародна конф. ПИМ-2021*, Харків-Одеса. 2021. С. 54–56.
62. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V. The basic structure of the BIM platform for digitalization of the smart construction. *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young science «Build-Master-Class-2021»*.2021. P. 332–333.
63. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V. Verification of BIM-models for lifecycle of construction site. *Abstracts of the 8th International scientific and practical conference «Scientific achievements of modern society»*, Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. P. 36–41.
64. **Гончаренко Т.**, Клевцов М., Гриневич Д. Інформаційне середовище загальних даних BIM-моделювання для вирішення задач генерального планування, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 332–333.
65. Ковтун К., Клічес В., **Гончаренко Т.** Впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у навчально-виховний процес, *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 334–335.
66. Лященко М., **Гончаренко Т.**, Лященко Т. Автоматизація проектування і візуалізація BIM-моделей інженерних мереж в Autodesk Revit, *International Scientific-Practical Conference of young scien."Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 336–337.
67. Яворський М., Тугай М., **Гончаренко Т.** Сучасні програми для створення користувачьких інтерфейсів, *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*. 2020. P. 340–341
68. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko M. Application of distributed software technologies at the stage of urban planning design, *I науково-практичної конференції «Розподілені програмні системи і технології»*, КНУБА. 2020. С. 26.
69. **Honcharenko T.**, Mihaylenko V., Lyashchenko T. Integration of BIM and CALS technologies for information modeling in construction. *XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Prospects for the development of modern science and practice»*.2020. P. 48–51.

70. Михайленко В., Гончаренко Т., Лященко Т., Лященко М. Впровадження програмних комплексів на основі технології інформаційного моделювання (BIM-технології). *Working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scientists «Build-Master-Class-2019»*. 2019. P. 450–451.

71. **Honcharenko T.**, Lyashchenko T., Lyashchenko M. Information technologies for 3D modeling for construction and architecture. *VIII міжнародна науково-практична конференція «Управління розвитком технологій»*, КНУБА. 2019. P. 80–82.

72. **Гончаренко Т.А.** Інформаційна технологія створення інтегрованої цифрової моделі території під забудову, *XXVII Міжнародна Науково-практична Конференція «Microcad-2019»*. Харків. 2019. С. 137–138.

73. **Honcharenko T.** Information modeling and software for Implementation BIM-technology in the construction industry, *Materials of the XV International scientific and practical Conference Modern european science-2019*, SHEFFIELD, UK.