

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

ГОНЧАРЕНКО ТЕТЯНА АНДРІЇВНА



УДК 004.045:004.94

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

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант:

заслужений працівник освіти України,
доктор технічних наук, професор
Чернишев Денис Олегович,
Київський національний університет
будівництва і архітектури МОН України,
перший проректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Корж Роман Орестович,
Національний університет «Львівська
політехніка» МОН України,
проректор з науково-педагогічної роботи
та соціального розвитку

доктор технічних наук, професор
Барабаш Марія Сергіївна,
Національний авіаційний університет МОН
України, професор кафедри комп'ютерних
технологій будівництва та реконструкції
аеропортів

доктор технічних наук, професор
Алексєєв Михайло Олександрович,
НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України,
завідувач кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем

Захист дисертації відбудеться «14» травня 2024 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31, а. 466.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, пр. Повітряних Сил, 31.

Реферат розісланий «09» квітня 2024 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01
канд. техн. наук, доцент



Є. Г. Бойко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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. Михайленка, 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. Ляценка, Ю. П. Палехи, О. С. Петраковської, О. І. Сингаївської, В. А. Смілки, А. М. Третяка, П. П. Чередніченка, Д. О. Чернишева, M. Batty, W. Yang, Xia Wei, Wojciech Bonenberg, Mo Zhou, J. Wang, X. 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 BIM-технології у такий спосіб, щоб забезпечити цільний 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 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 проектах будівництва.

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

Основна гіпотеза дослідження полягає у тому, що сукупне використання методологічних компонентів єдиного інформаційного середовища забезпечить розширення можливостей ВІМ-технології для просторового планування і ревіталізації територій. Це дасть змогу при розробці проектів планувальних рішень подолати протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу протягом життєвого циклу проекту будівництва і підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень щодо вибору проектів 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 проектів 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 сформувати 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 сформувати 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 сформулювати 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 проекту 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 проєкту 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 багатошарового 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 проекту 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 проектних рішень за рахунок застосування підходу різномірневої 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 реалізація 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». «Спецбудпроект». 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 кожную 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, ІТПМ 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 складається з 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано важливість й актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету та задачі роботи, визначено основні положення, наукову і практичну цінність отриманих результатів роботи та наведено особистий внесок автора.

У *першому розділі* «Теоретичні та прикладні передумови оновлення інформаційних технологій для вирішення задач просторового планування в проєктах будівництва» за підсумками опрацювання теоретико-методологічних, інформаційно-аналітичних та прикладних джерел літератури з предмета дослідження виконано аналіз теоретичних і прикладних передумов оновлення ІТ для розв'язання задач просторового планування в проєктах будівництва та ревіталізації територій. Систематизовано компоненти ІТ і систем, які відповідають потребам формалізованого моделювання територіального простору та сучасним директивним вимогам, опрацювані новітні потреби інформаційних технологій та інструментальних засобів просторового планування в проєктах будівництва та ревіталізації територій і виявлено актуальні проблеми та задачі, пов'язані з цифровізацією проєктів будівництва та ревіталізацією територій. Викладено наукову гіпотезу, яка визначила зміст і траєкторію подальших досліджень. Визначено, що в контексті даного дослідження, під *методологією* розуміється система методів, моделей та компонент ІТ, спеціально розроблених для вирішення проблеми формалізованого опису ОПП з позицій ЄІС як складових проєктів забудови і ревіталізації територій.

Другий розділ «Методологічні компоненти формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем» присвячено розробці теоретико-методологічним інноваціям у застосуванні міждисциплінарного підходу до формуванні базової архітектури ЄІС для автоматизації ОПС. Здійснено налаштування онтологічних та методологічних дефініцій відповідно до формату та змісту дослідження. Функціональний розгляд процесу просторового планування допоміг розробити структурно-функціональну модель (OPS) інформаційного забезпечення просторового планування будівельного проєкту (рис.1), яка у формальному вигляді визначається комплексною функцією $F(t)$, що здійснює перетворення *Tools* на множині даних просторового планування *Data* з урахуванням функції часу T в ЄІС:

$$OPS = \{G, F(t), T\}, \quad (1)$$

де $G = \{Data, Tools\}$ – ЄІС; $F(t) = (Fd, Fi, Fm, Fa, Fp, Fc)_{(t)}$ – перелік технологічних функцій просторового планування; T – функція часу; $Data = \{D, I, M, A, R, C\}$ – множина даних просторового планування; *Tools* – множина засобів трансформації даних.

Концептуальна модель ЄІС просторового планування (рис. 2) базується на об'єктивній необхідності об'єднання результатів вивчення території різними галузевими операторами, що дає змогу уникати протиріч, помилок та колізій під час прийняття планувальних рішень.

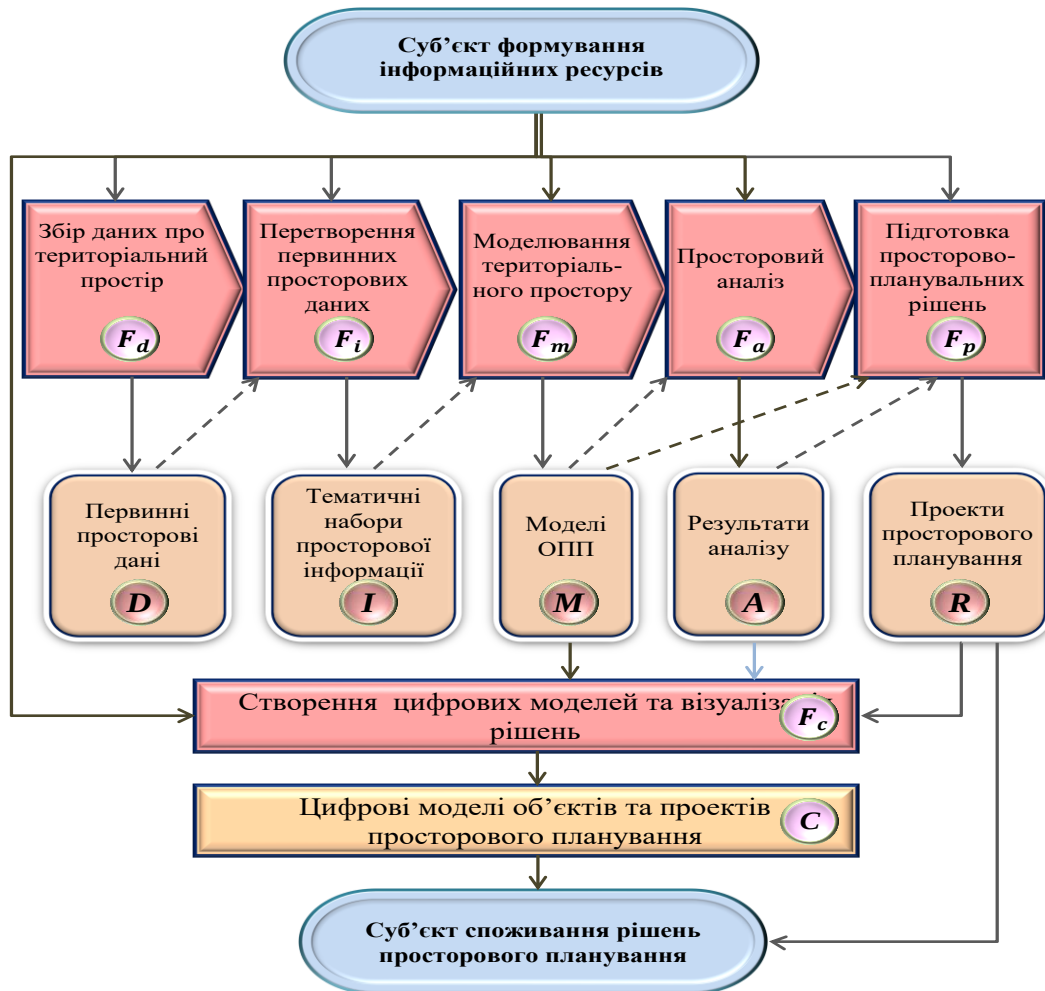


Рисунок 1 – Структурно-функціональна модель інформаційного забезпечення просторового планування будівельного проєкту



Рисунок 2 – Концептуальна модель єдиного інформаційного середовища

Для формування ЄІС застосовано 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 (рис.3).



Рисунок 3 – Базова архітектура єдиного інформаційного середовища

ЄІС для вирішення завдань просторового планування формується на основі комплексної обробки просторової та семантичної (атрибутивної) інформації про територію будівельного проєкту та прилеглі території (рис.4).

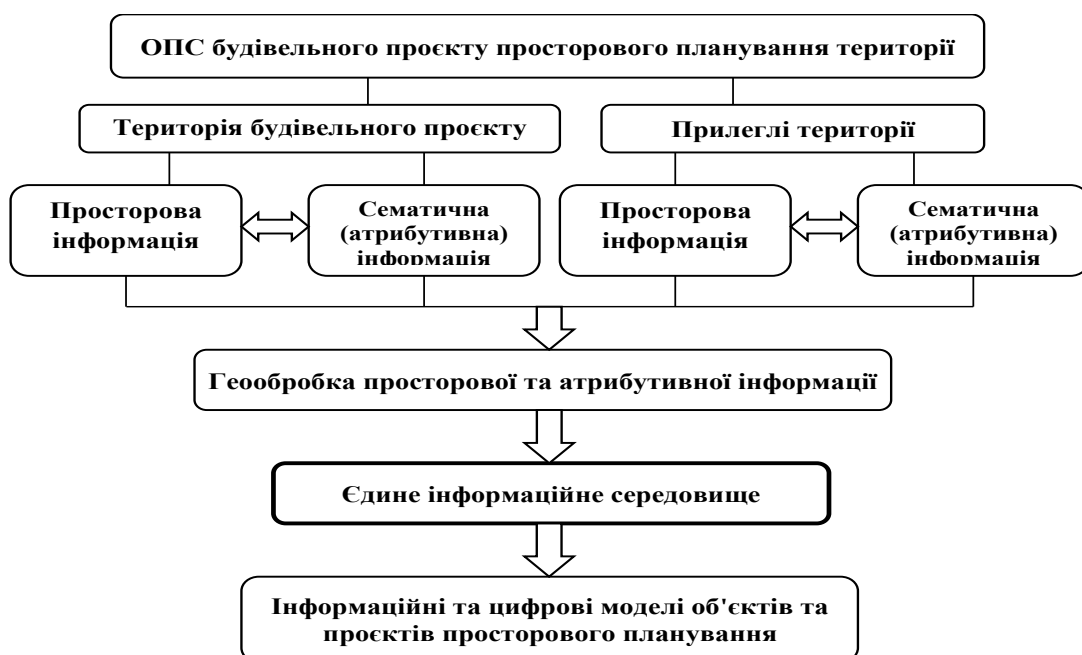


Рисунок 4 – Модель ОПС будівельного проєкту

Розроблено узагальнену модель ОПП (рис. 5) і визначено основні класи ОПП (земельні ділянки та території, будівлі та споруди, дороги, інженерні комунікації, елементи благоустрою та планувальні обмеження) з наборами ключових атрибутів (рис.6).

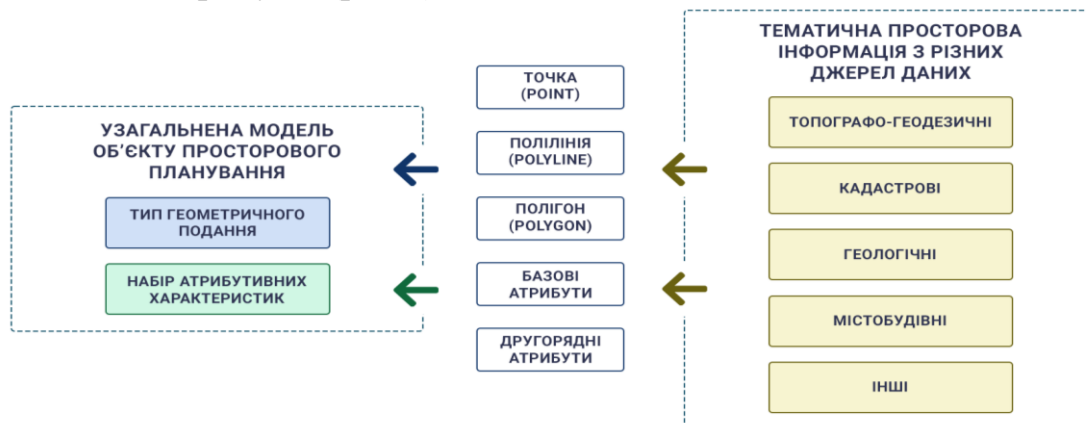


Рисунок 5 – Структура формування ІМ ОПП

Правило побудови ІМ ОПП потребує визначення класу об'єкта просторового планування, що складається з геометричного подання та набору атрибутивних характеристик:

$$OPP = GP + \bigcup_{k=1}^n A_k, \quad (2)$$

де OPP – об'єкт просторового планування (ОПП), який відображає загальне представлення просторового предмета; GP – геометричне подання, яке може приймати значення від 0 до 2, де 0 – point (точка), 1 – polilune (полілінія), 2 – polygon (полігон); $\bigcup_{k=1}^n A_k$ – набір атрибутивних характеристик об'єкта, де A_k представляє кожен атрибут окремо.

Клас ОПП	Геометрія (Спосіб просторового подання об'єкта місцевості)	Атрибути:	
		Назва	Опис
Земельна ділянка	Polygon	category	категорія земель
		pur_code	код цільового призначення
		purpose	цільове призначення
		ownersh	форма власності
		land_user	землекористувач
		area	площа, га
Гідроінженерні споруди	Polygon Polyline Point	type	тип гідроінженерної споруди
		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

Рисунок 6 – Врахування атрибутів класів «Земельні ділянки» та «Гідроінженерні споруди» в методологічних компонентах дослідження (фрагмент)

Структура інформаційного набору ОПП описується таким кортежем:

$$S = \langle IDis, IDt, IDopp, OPP, OPS \rangle, \quad (3)$$

де *IDis* – ідентифікатор інформаційного набору; *IDt* – ідентифікатор тематичної галузі; *IDopp* – ідентифікатор ОПП; *OPP* – модель ОПП, яка відображає представлення реального геопросторового об'єкта згідно (2); *OPS* – модель ОПС будівельного проекту.

На рис. 7 наведено ІТ формування ЄІС для автоматизації ОПС на основі методологічних компонентів.

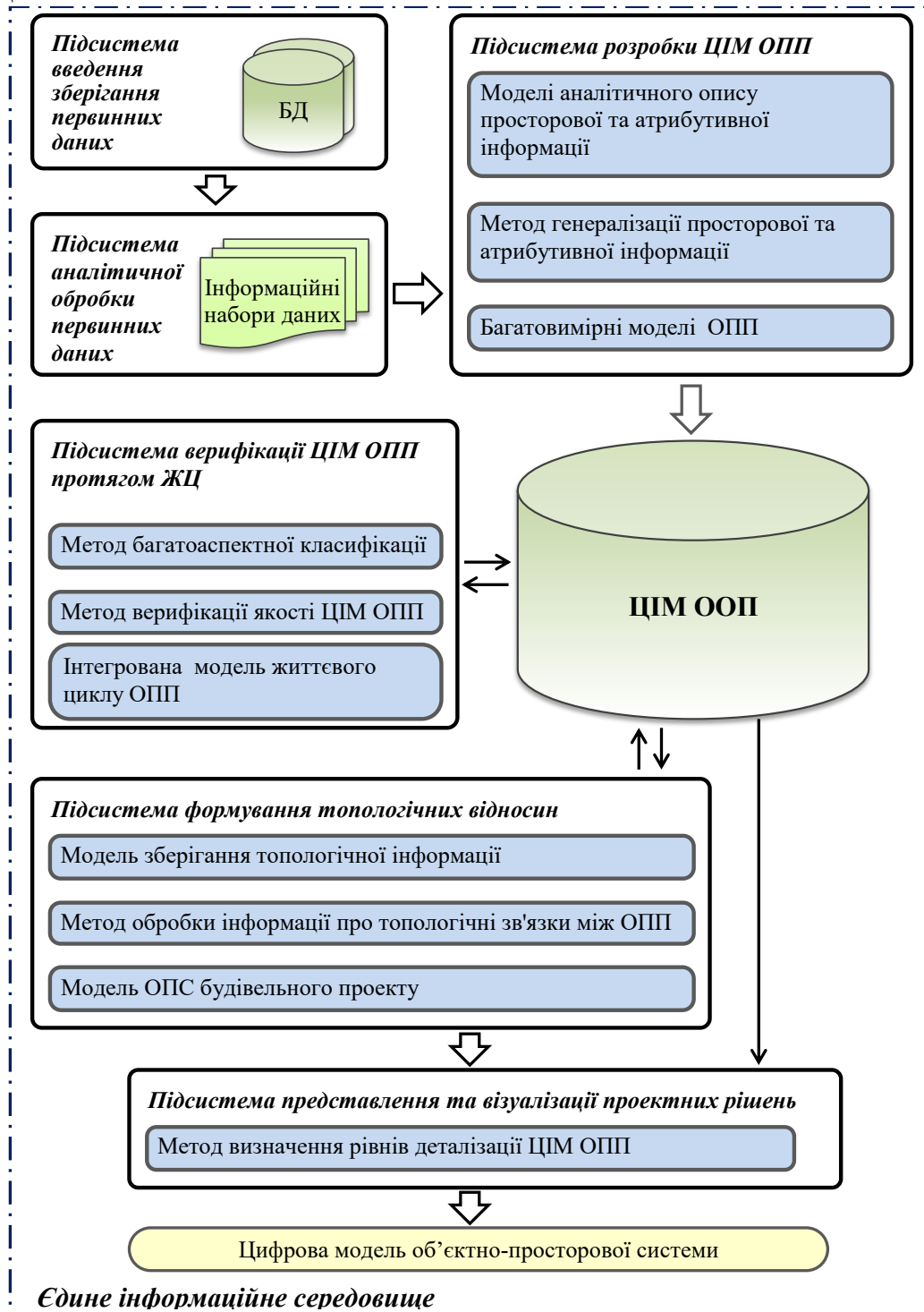


Рисунок 7 – ІТ формування ЄІС для автоматизації ОПС на основі методологічних компонентів

У *третьому розділі* «Аналітичний базис інтегрованого опису й обробки просторової, атрибутивної та топологічної інформації» здійснена формалізація, агрегація та генералізація територіально розподілених різнорідних первинних даних щодо ОПП на основі мультиплікативного підходу до опису великих обсягів інформації з використанням багатовимірних інформаційних об'єктів (БІО). 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 й обробки просторової та атрибутивної інформації. Загальна модель опису БПО визначається як T_i^n , де T – назва БПО, n – розмірність БПО, i – характеристика геометричного типу (точка, полілінія, полігон).

Модель ОПП точкового типу визначається так:

$$Point = \{T_{point}^1, A_{point}^1\}, \quad (4)$$

де $T_{point}^1 = \{IDp, X, Y, Z\}$; де X, Y, Z – просторові координати; IDp – ідентифікатор БПО; A_{point}^1 – множина атрибутивних даних.

Модель ОПП полінійного типу визначається так:

$$Line = \{T_{line}^2, A_{line}^1\}, \quad (5)$$

де $T_{line}^2 = \{IDL, \{T_{point}^1\}_i\}$, $i = \overline{1, k_p}$; IDL – ідентифікатор лінійного об'єкта; k_p – кількість точок полілінії; A_{line}^1 – множиною атрибутивних даних.

Модель ОПП полігонального типу визначається так:

$$Polygon = \{T_{polyg}^3, A_{polyg}^1\} \quad (6)$$

де $T_{polyg}^3 = \{IDpl, \{T_{line}^2\}_j\}$, $j = \overline{1, k_l}$; $IDpl$ – ідентифікатор полігонального об'єкта; k_l – кількість обмежуючих ліній полігона; A_{polyg}^1 – множина атрибутивних даних.

Опис внутрішньої структури БПО визначається схемою розмірності n : $S(T_i^n) = S^n$. Для об'єднання БПО розмірності n з БПО розмірності $(n+1)$ структурна схема БПО T_i^{n+1} виглядає так:

$$S(T_i^{n+1}) = \{S^n, S_{n+1}\} = S^{n+1}. \quad (7)$$

Для того щоб структурна схема S^n прийняла форму S_i^{n+1} , пропонується використовувати структурований багатовимірний просторовий об'єкт (СБПО), який визначається як $\tilde{T}^{n+m}$, де n – кількість наявних розмірностей, m – кількість додаткових розмірностей.

Такі об'єкти відповідають БПО більшої розмірності за структурною схемою і БПО тієї ж розмірності за інформаційним наповненням. Окремий шар ОПП точкового типу описується виразом:

$$\tilde{T}_m^4 = \{\tilde{T}_m^3\}_i \cdot N_{layer}, \quad i = \overline{1, n_1}, \quad (8)$$

де N_{layer} – список всіх об'єктів одного тематичного шару; n_1 – кількість точкових об'єктів одного тематичного шару.

Окремий шар ОПП лінійного типу описується виразом:

$$\tilde{T}_L^4 = \{\tilde{T}_L^3\}_i \cdot N_{layer}, \quad i = \overline{1, n_2} \quad (9)$$

де n_2 – це кількість полілінійних об'єктів одного тематичного шару.

Окремий шар ОПП полігонального типу описується виразом:

$$\tilde{T}_P^4 = \{\tilde{T}_P^3\}_i \cdot N_{layer}, \quad i = \overline{1, n_3} \quad (10)$$

де n_3 – це кількість полігональних об'єктів одного тематичного шару.

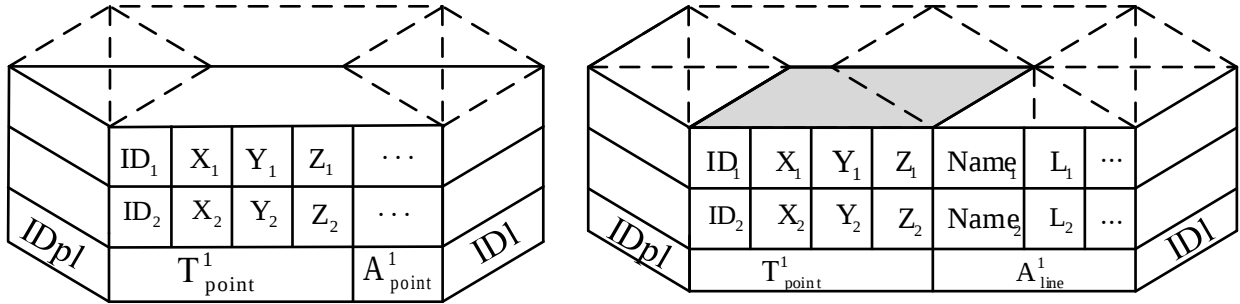


Рисунок 8 – Графічне представлення моделей шарів точкових та полілінійних об'єктів

Повний опис всіх типів ОПП згрупованих в шари із однаковим рівнем деталізації (LOD), які належать єдиній моделі території певного масштабу, може бути представлено у вигляді СБПО $\tilde{T}_{LOD}^5$ розмірності 5:

$$\tilde{T}_{LOD}^5 = \{\tilde{T}_m^4, \tilde{T}_L^4, \tilde{T}_P^4\}_i \cdot N_{LODi}, \quad i = \overline{1, n_5}, \quad (11)$$

де N_{LODi} – список об'єктів всіх типів одного i – го рівня деталізації; n_5 – загальна кількість типів об'єктів спільного рівня деталізації.

Повний опис ОПП різних рівнів деталізації описується у вигляді СБПО розмірності 6 (рис. 9):

$$\tilde{T}_{LOD}^6 = \{\tilde{T}_{LOD}^5\}_i \cdot N_{LOD}, \quad i = \overline{1, n_6}, \quad (12)$$

де N_{LOD} – список рівнів деталізації; n_6 – кількість рівнів деталізації.

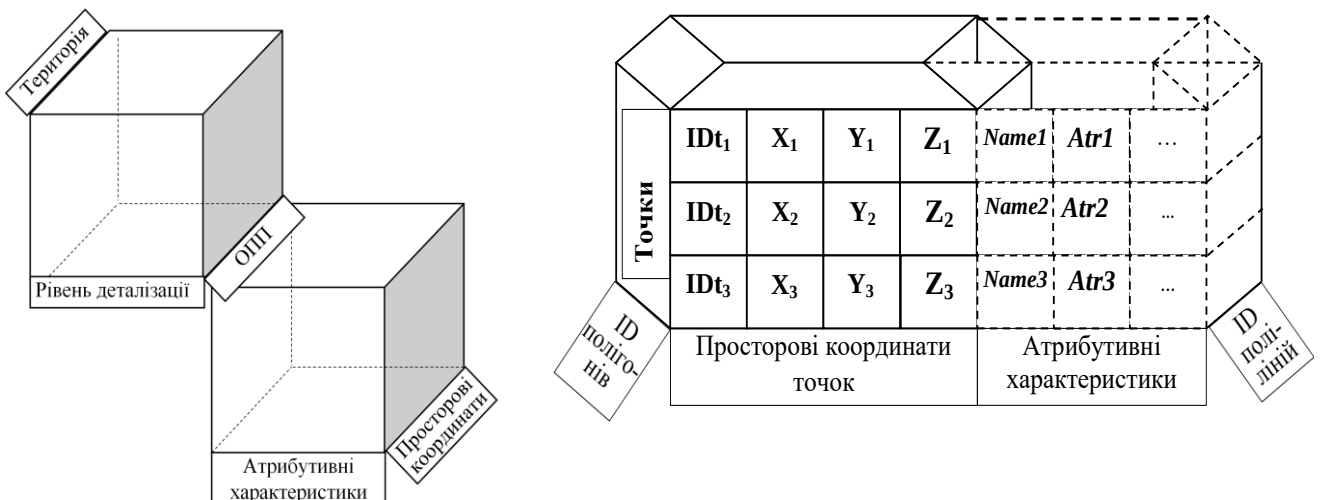


Рисунок 9 – Повний опис ОПП різних рівнів деталізації

На основі використання БІО удосконалено *метод генералізації* різномірної (за типом та форматом) і розподіленої (за місцем зберігання та належністю до різних ІС) просторової інформації, що дає змогу описати перетворення окремих елементів або груп ОПІ (рис. 10) та інтегрувати в ЄІС різномірну просторову й атрибутивну інформацію на всіх організаційних рівнях управління територією при збереженні її цілісності.

Операція простої та узагальненої зміни БІО 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 $T_{input,i}^{n-3}$.

$$\{T_{input,i}^{n-3}\} \xrightarrow{\Pi_{S_1 l}(T_{input}^{n-3})=f(\Pi_{S_1 l}(T_{output,1}^{n-3}), \Pi_{S_1 l}(T_{input,m}^{n-3}))} T_{output}^{n-3}. \quad (13)$$

Операція просторової генералізації визначається у такий спосіб:

$$\begin{aligned} T_{output}^{n-1} &= G_g(T^n) = \{G_g(T_j^{n-1})\} * S_n, \\ T_{output}^3 &= g(\{T_i^3\}), \end{aligned} \quad (14)$$

де T_{input}^n – вхідний елемент БІО, значення якого має бути змінено за допомогою деякого функціонального перетворення f на T_{output}^i , $j = \overline{1, k_n}$; k_n – кількість T_j^{n-1} ; g – функція геообробки. $g = \{F_s, F_A\}$, $g: \{T_i^3\} \rightarrow T^3$; F_s – функція просторового перетворення; F_A – набір функцій перетворення елемента даних.

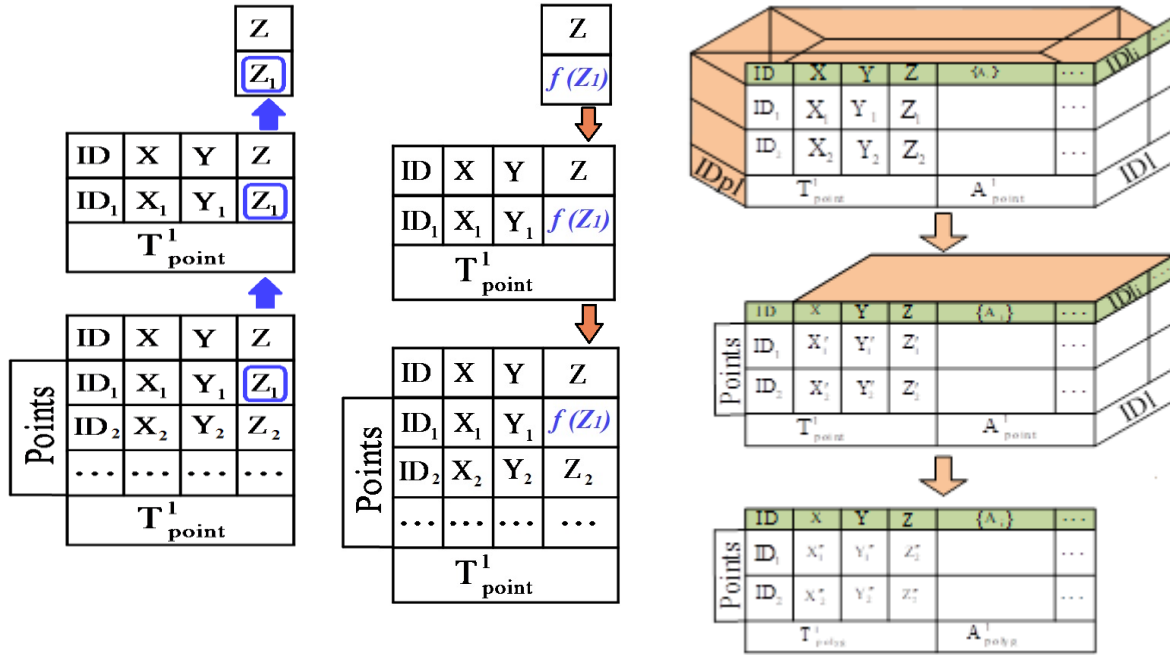


Рисунок 10 – Результат послідовного використання методу генералізації для операції заміни БІО та функції геообробки

Розроблено *метод зберігання та обробки інформації про топологічні зв'язки між ОПІ*. Концептуальна модель для зберігання просторової інформації про топологічні правила – це куб, утворений шарами, представленими у вигляді топологічних двовимірних масивів (рис. 11).

Кожний шар в кубі відповідає певному топологічному зв'язку і являє собою двовимірну матрицю.

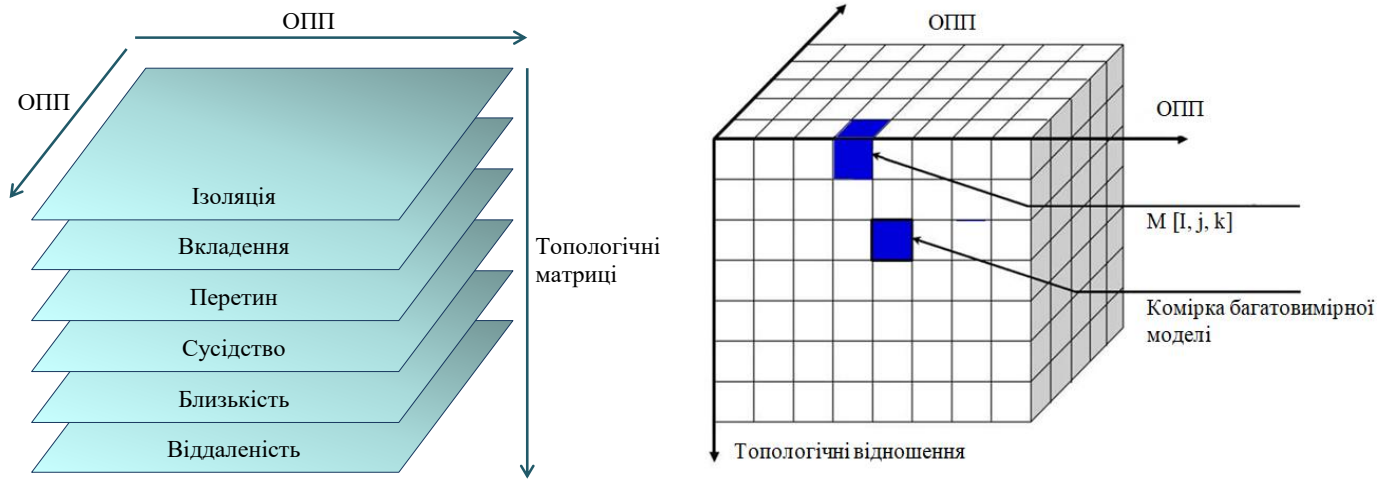


Рисунок 11 – Концептуальна модель для зберігання просторової інформації про топологічні правила та багатовимірна модель для опису топологічних зв'язків

Нехай існує множина об'єктів просторового планування:

$$O = \{O_i\}, i=1...n, \quad (15)$$

де n – кількість ОПП, а також множина сформованих топологічних правил вибору R .

$$R = \{R_j\}, j=1...m, \quad (16)$$

де m – кількість правил.

Суть методу вибірки ОПП полягає в перевірці множини O на відповідність її елементів до множини R . Доцільно представити метод у вигляді послідовності виконання таких кроків:

Крок 1. Визначається набір ОПП згідно (16) та множина сформованих топологічних правил вибору згідно (17).

Крок 2. Множина O обробляється відповідно до наступного правила:

$$M[i, j, k] = R(O_i, O_j)_k, R_k \in R, \forall O_i, O_j \in O, \quad (17)$$

де i, j – порядкові номери рядка і стовпця багатовимірної моделі (рис. 11); k – номер топологічного правила; M – топологічна матриця.

Крок 3. Формуються прості (одне топологічний зв'язок) або складні (комбінація топологічних зв'язків) правила, які визначають взаємне розташування ОПП.

Крок 4. Розміщення ОПП здійснюється шляхом опрацювання топологічної матриці, для якої формується власний список S відповідних об'єктів, тобто для кожного i -го ОПП визначаються інші (з номерами j), що відповідають йому в будь-якому просторовому відношенні:

$$S_i \leftarrow \text{Get ID}(i, j), \text{ if } M[i, j, k] = 1 \ \& \ i \neq j \ \forall i, j \in (1...n), \quad (18)$$

де Get ID – оператор для визначення ідентифікатора ОПП за його номером у матриці. Для складеного правила сформовані списки об'єднуються відповідно до розташування правил (кон'юнкція, диз'юнкція, заперечення):

$$S = S_1 (\& / \| \neg) \dots S_2 \dots S_i \dots S_p, \quad (19)$$

де p – кількість простих правил у складеному.

Для автоматизації топологічних зв'язків використана OLAP-технологія (рис. 12), яка поряд з первинними даними вилучає агреговані дані з оперативних систем з метою прискорення опрацювання запитів користувачів (рис. 13).

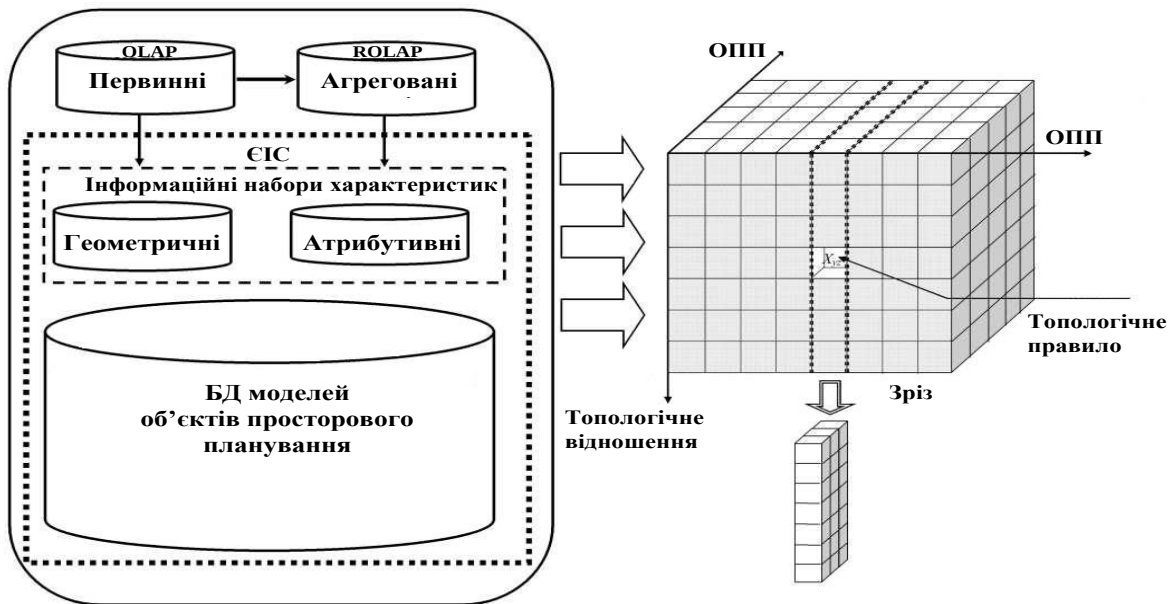


Рисунок 12 – OLAP-технологія для автоматизації топологічних зв'язків

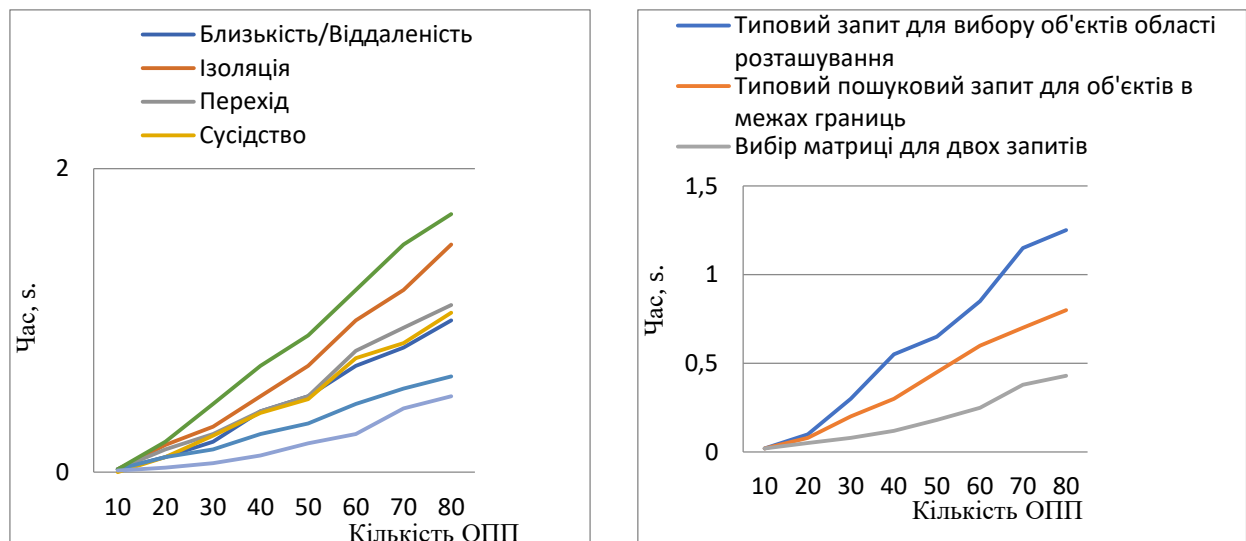


Рисунок 13 – Результати застосування методу для обробки простих та складених топологічних правил

Четвертий розділ «Методи автоматизації об'єктно-просторових систем на основі технології інформаційного моделювання» присвячено розробці інструментальних методів для вирішення функціональних задач просторового планування.

Удосконалено метод багатоаспектної класифікації для валідації ЦІМ ОПІ, який виявляє відхилення від встановлених параметрів та колізії протягом ЖЦ БП. Перевагою такого методу є його гнучкість, яка

обумовлена тим, що зміни в одному з фасетів не чинять істотного впливу на інші фасети, а також є можливість розширити структуру класифікації додаванням нових фасетів. Для валідації ІМ ОПП було визначено п'ять ознак, на підставі яких було сформовано відповідні фасети (рис. 14). Класифікаційні індекси синтезуються шляхом поєднання фасетних ознак відповідно до фасетної формули:

$$Ks = (\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3, \Phi 4, \Phi 5). \quad (20)$$

Позиція представленої класифікації Ks формується шляхом отримання комбінації вибраних значень з кожної фасети.

Наприклад: $K1 =$ (якість моделі; вимоги нормативних документів; всі класи ОПП; геометрична; на стадії проєкт). Фасетною формулою позиція $K1$ описується так:

$$K1 = (\Phi 1.2; \Phi 2.1; \Phi 3.2; \Phi 4.1; \Phi 5.1). \quad (21)$$

Формула 4.2 визначає процес перевірки відповідності параметрів моделі вимогам нормативних документів, які поширюються на всі класи ОПП, при цьому буде перевірятися тільки геометрична інформація проєктної моделі.

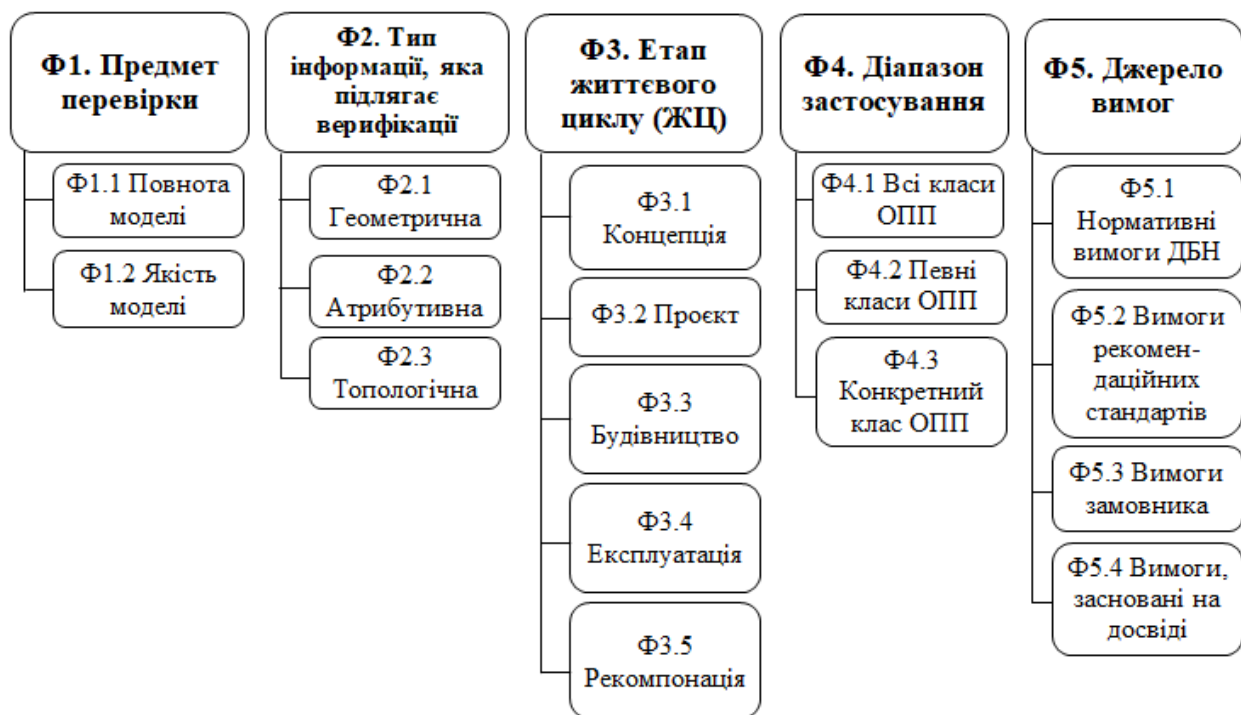


Рисунок 14 – Фасети верифікації ЦІМ ОПП

Розроблено узагальнений метод верифікації якості ІМ ОПП, який визначає ключові параметри для комплексної перевірки інтегрованих моделей та здійснює деталізовану, послідовну валідацію характеристик цифрових ІМ ОПП на етапах ЖЦ на відповідність директивним вимогам (рис. 15).

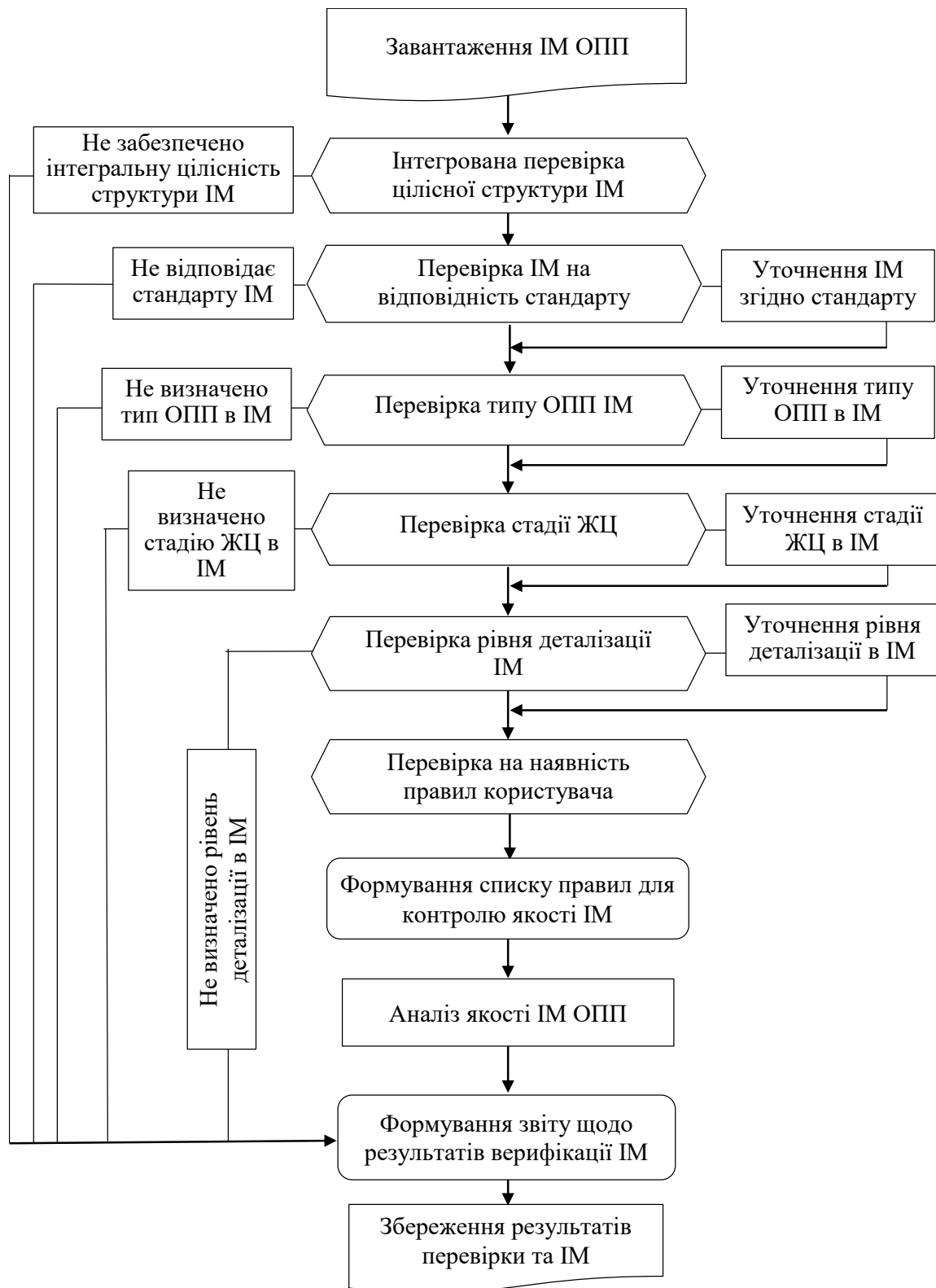


Рисунок 15 – Послідовність перевірки якості ІМ ОПП

Розроблено метод визначення рівнів деталізації цифрових моделей ОПП у складі цифрової моделі міста з метою зменшення обчислювального навантаження в операціях, пов'язаних з візуалізацією. Метод адаптує концепцію різнорівневої деталізації до ОПП міської території, де для кожного з них вибираються діапазони рівнів деталізації, виходячи з потреб різних суб'єктів управління при прийнятті рішень (рис.16).

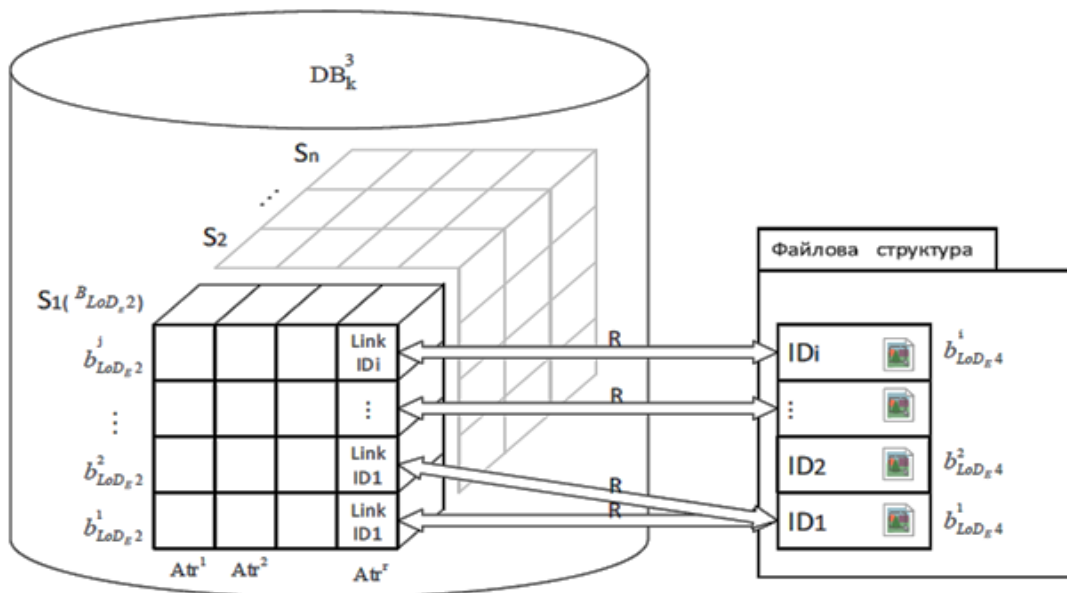


Рисунок 16 – Організація зв'язку в DB між об'єктами LoDE2 та LoDE4

Розроблений метод має стратегічне значення за підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних ситуацій на міських об'єктах, яке полягає у підвищенні рівня операційного розуміння ситуації без відволікання на несуттєві деталі.

У *п'ятому розділі* «Інформаційна технологія формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації функціональних завдань об'єктно-просторових систем» запропоновано загальну архітектуру програмного комплексу на основі концепції рефлексивної адаптації (рис.17).

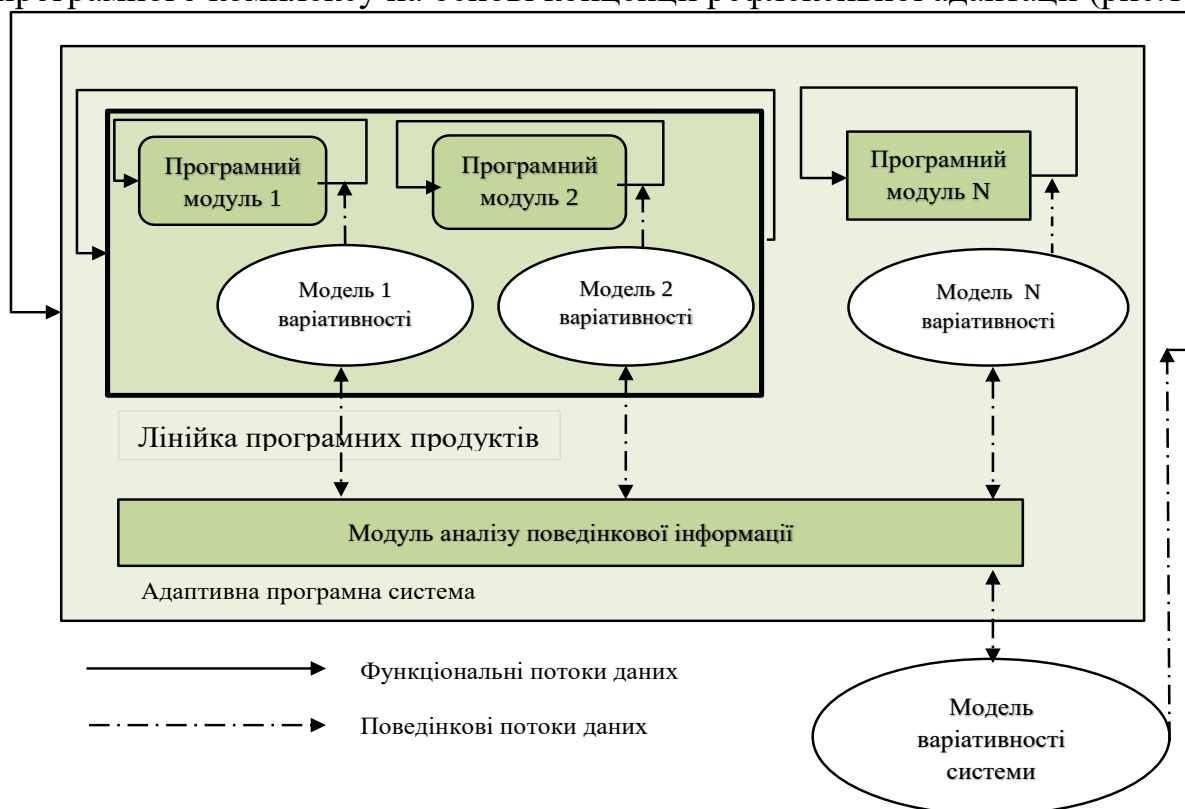


Рисунок 17 – Загальна архітектура програмного комплексу

Розроблено інтегровану модель життєвого циклу ОПП на основі BIM (рис. 18). 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 й обліку показників ефективності роботи системи.

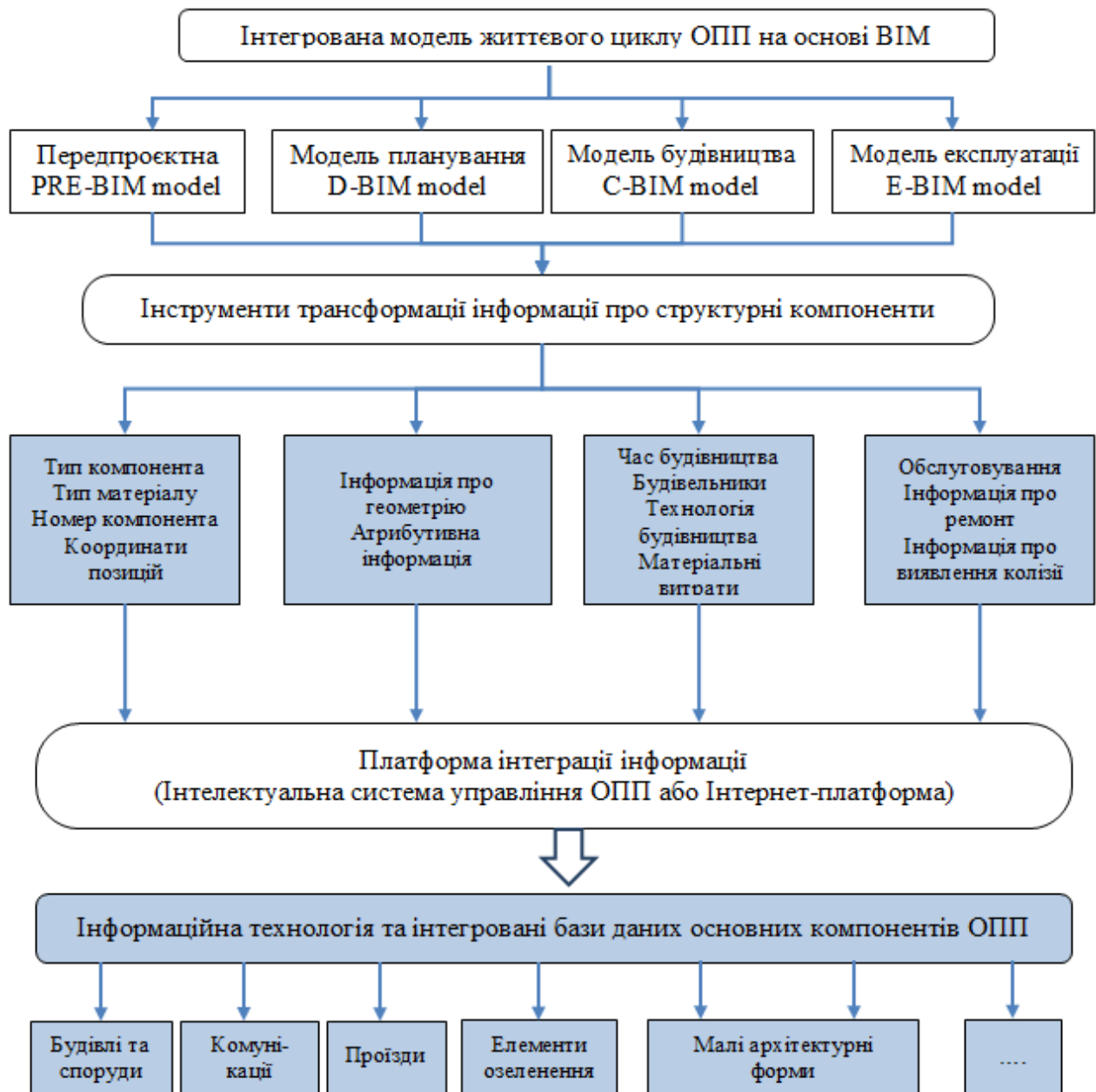


Рисунок 18 – Інтегрована модель життєвого циклу ОПП на основі BIM

Запропоновано архітектуру ІС для впровадження в діяльність органів виконавчої влади (ОВВ), яка дає змогу забезпечити інтеграцію і спільне використання просторової та атрибутивної інформації з різних неоднорідних джерел даних, а також опрацювання цієї інформації єдиним уніфікованим методом за допомогою сервісів даних, геообробки та картографічних *WEB*-сервісів (рис. 19, 20). Структура розподіленої бази даних (РБД) описується співвідношенням:

$РБД = БПД \cup БТПД_1 \cup БТПД_2 \cup \dots БТПД_i \dots \cup БТПД_n, \quad i = 1, n, \quad (22)$
де БПД – базові просторові дані; БТПД_{*i*} – база тематичних просторових даних *i*-го ОВВ; *n* – кількість тематичних баз просторових даних.

З позицій сервіс-орієнтованого підходу РБД описується виразом:

$$РБД = SD_i \cup SG_i^n \cup SW_i^r, \quad i = \overline{1, n}, \quad (23)$$

де *i* – індекс БД, інтегрованої в РБД; *n* – кількість сервісів геообробки; *r* – кількість картографічних *WEB*-сервісів. Сервіси даних *SD_i* описуються виразом:

$$SD_i = \{C_k, H_m, F_l\}, \quad (24)$$

де *C_k* – набір кодів джерел даних, що зберігаються в БД; *H_m* – набір тематичних характеристик ОПП; *F_l* – набір функцій, які реалізують механізми доступу до БД.

Сервіси геообробки даних описуються так:

$$SG_i^n = \{C_{SD_i}, M_i^n\}, \quad (25)$$

де *C_{SD_i}* – множина кодів різних джерелданих; *M_iⁿ* – множина геообробки.

Множина *WEB*-сервісів описується множиною:

$$SW_i^r = \{C_{SD_i}, C_{SG_i^n}, H_{W_i^r}\}, \quad (26)$$

де *H_{W_i^r}* – множина характеристик *WEB-інтерфейсу* для візуалізації запиту користувача.

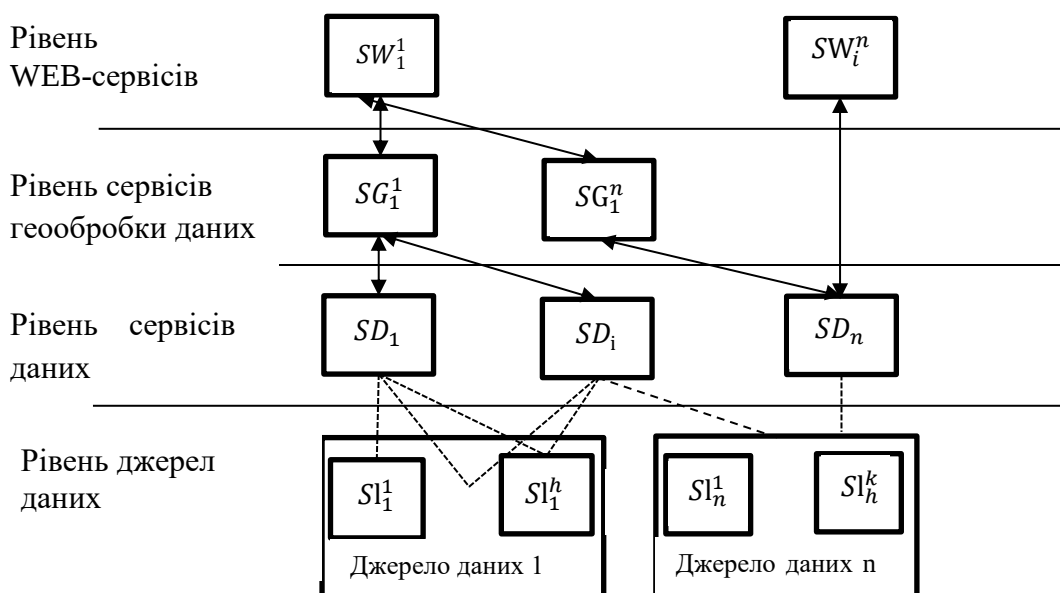


Рисунок 19 – Схема взаємодії сервісів інтеграції даних

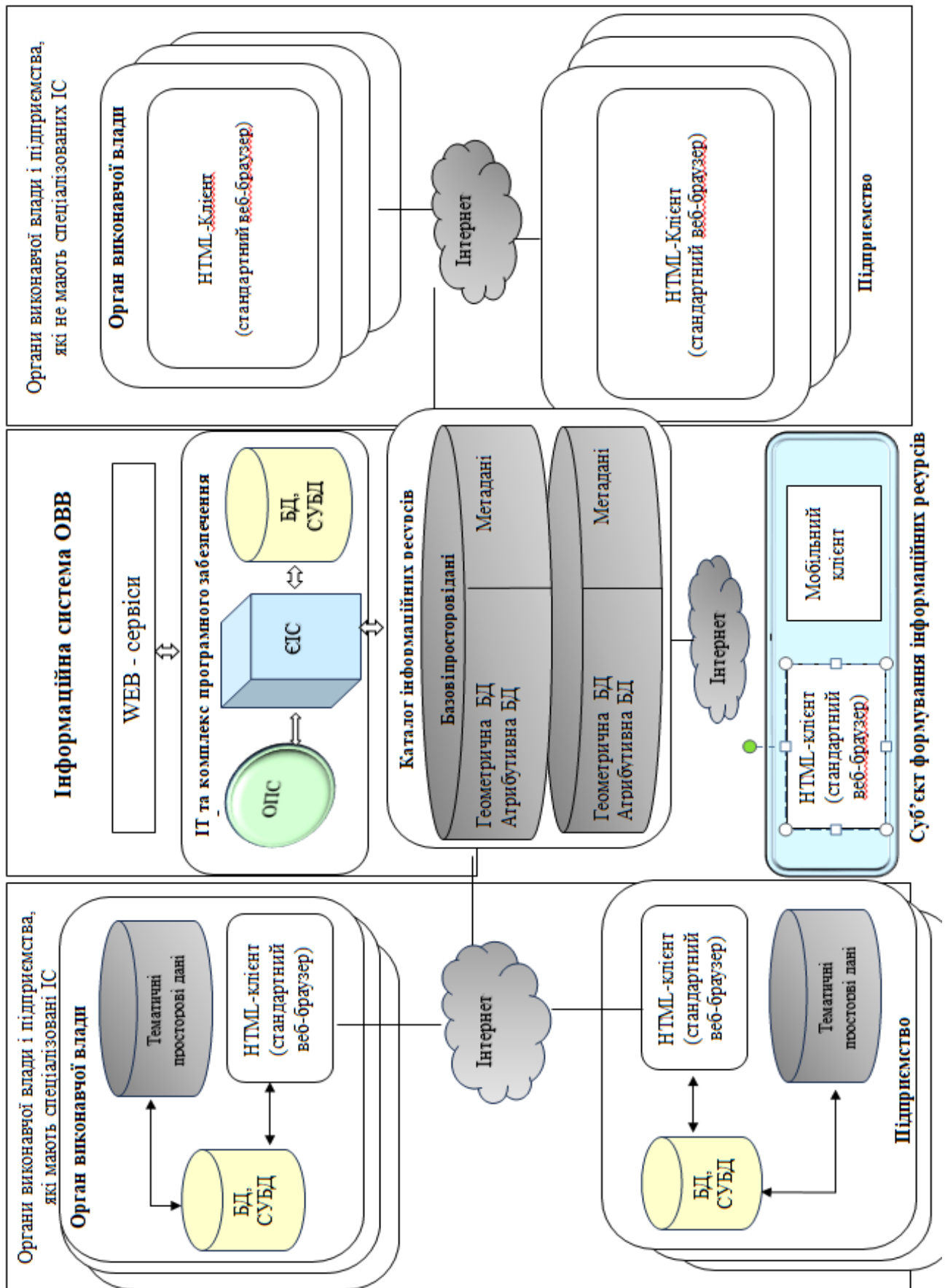


Рисунок 20 – Сервіс-орієнтована архітектура ІС ОВВ

У шостому розділі «Прикладні інструментальні засоби для цифровізації міського простору на основі інтеграції інформаційних технологій та систем» запропоновано ІТ «ABC» (А – Artificial intelligence, В – Big Data, С – CIM) для управління міським простором (рис.21) та ІС розробки цифрових двійників міських об’єктів як компонентів системи Smart City (рис. 22).

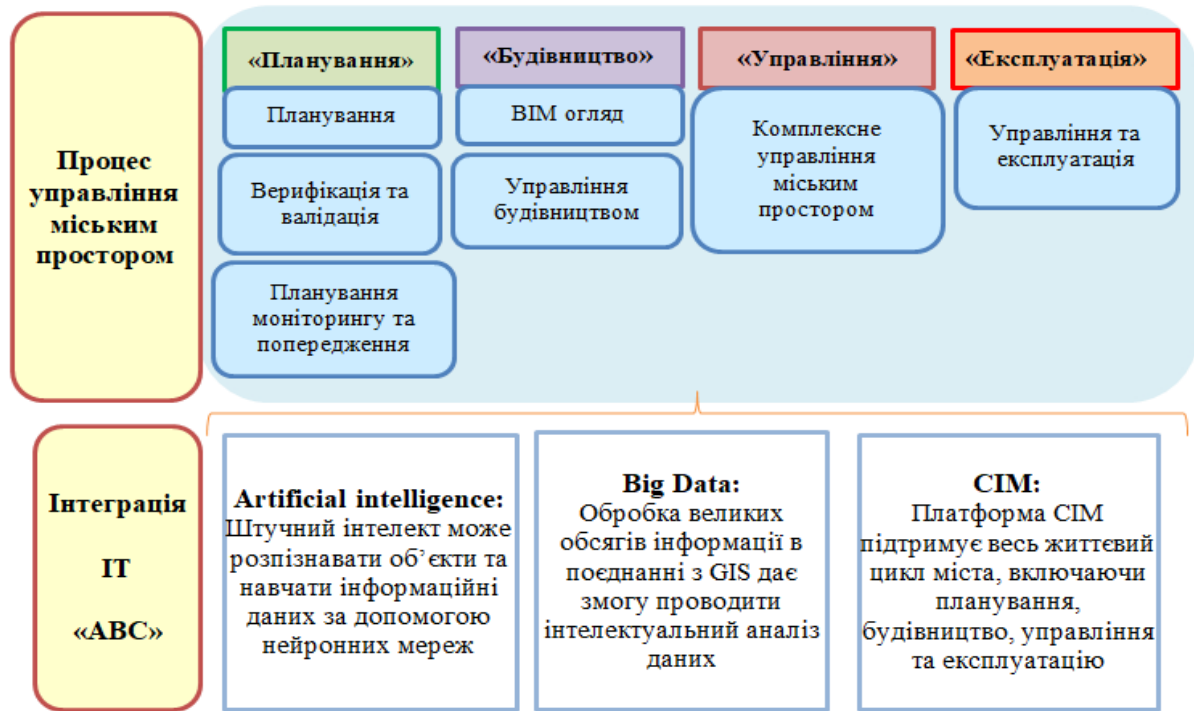


Рисунок 21 – Концептуальна схема ІТ для управління міським простором

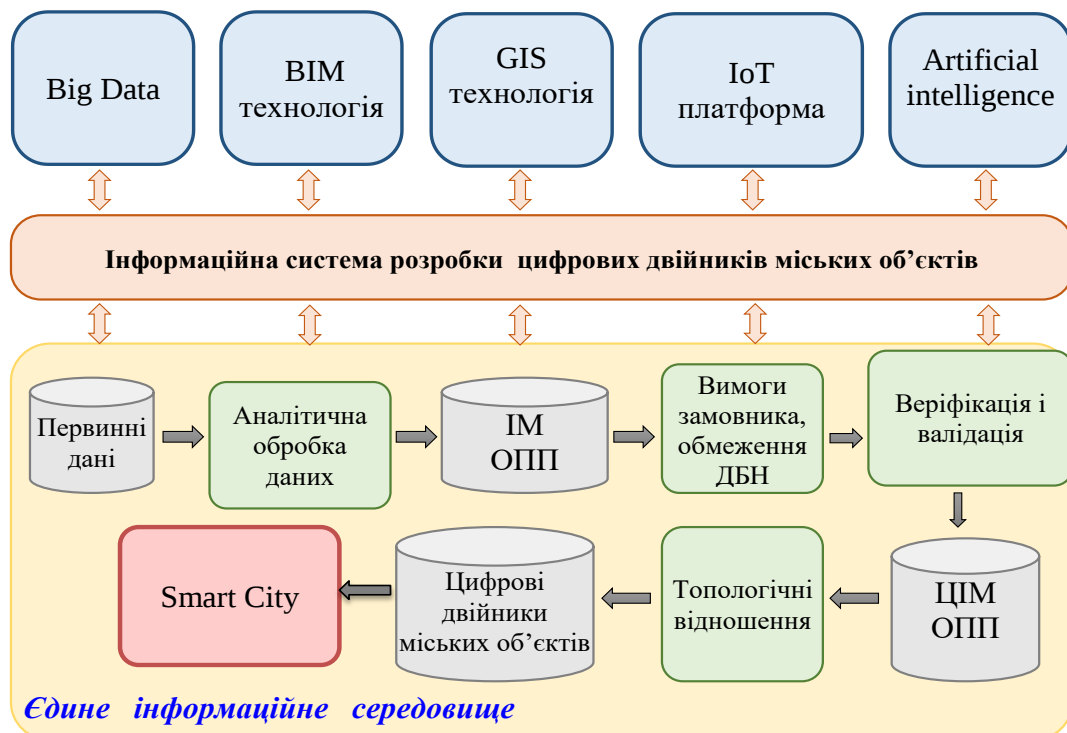


Рисунок 22 – ІС розробка цифрових двійників міських об’єктів як компонентів системи Smart City

Для визначення рівня застосування BIM-технології для розробки цифрових моделей різної степені деталізації розроблено багаторівневу логіко-семантичну схему в парадигмі кібернетики проблемно-орієнтованого моделювання, яка дає змогу абстрактно виокремити основні суб'єктно-об'єктні та об'єктно-суб'єктні горизонтальні зв'язки складових елементів, кожна пара яких визначається відповідністю власного рівня цифрового моделювання (рис. 23).

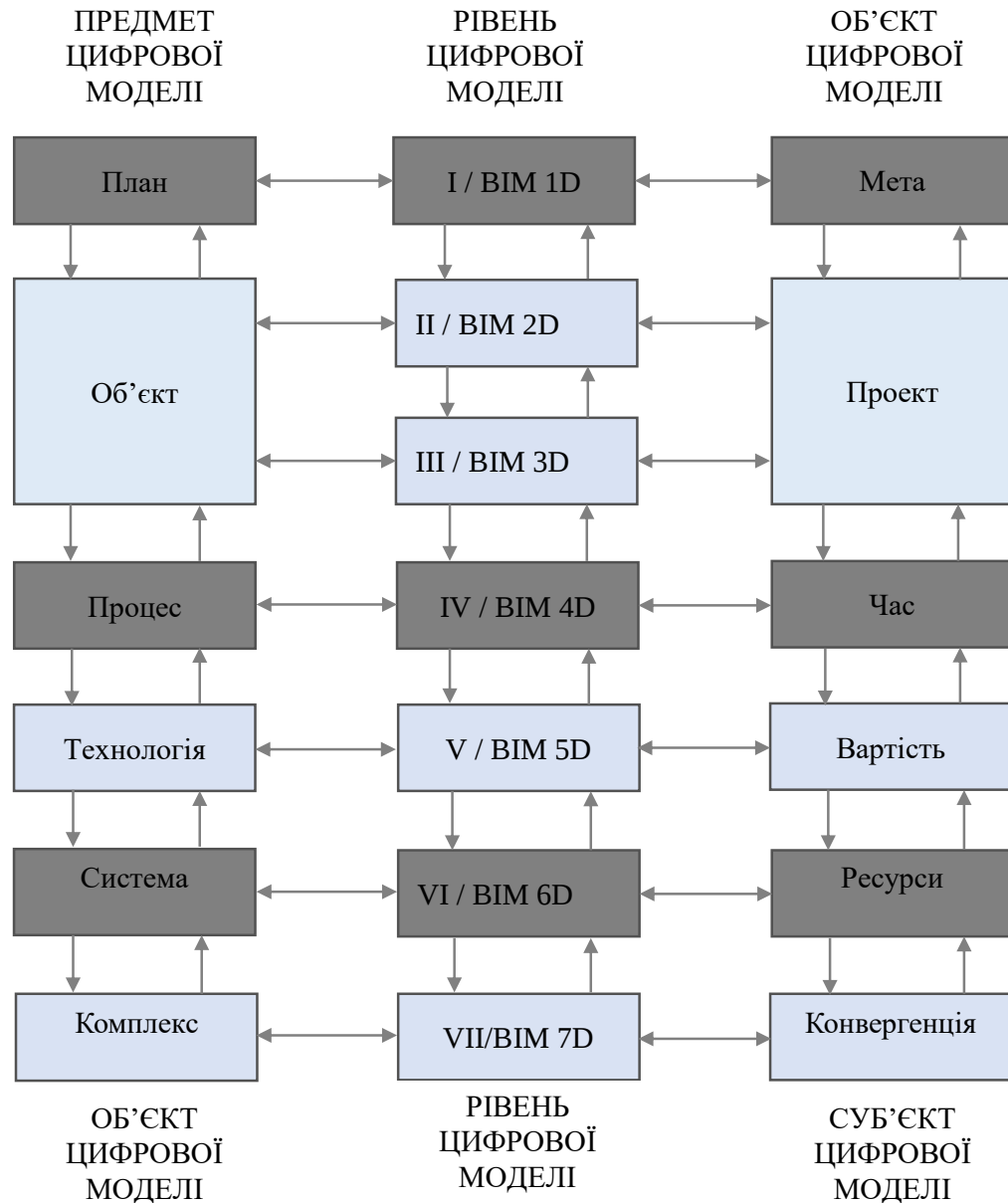


Рисунок 23 – Багаторівнева логіко-семантична схема цифрового моделювання будівельного проєкту

Розроблено структуру компонентів CIM методології для інформаційного моделювання міського середовища на основі інтеграції BIM- та GIS- технологій. Запропоновано структуру CIM-моделі даних CityGML, визначено взаємозв'язки між компонентами структур даних CIM, IFC і CityGML (рис. 24).

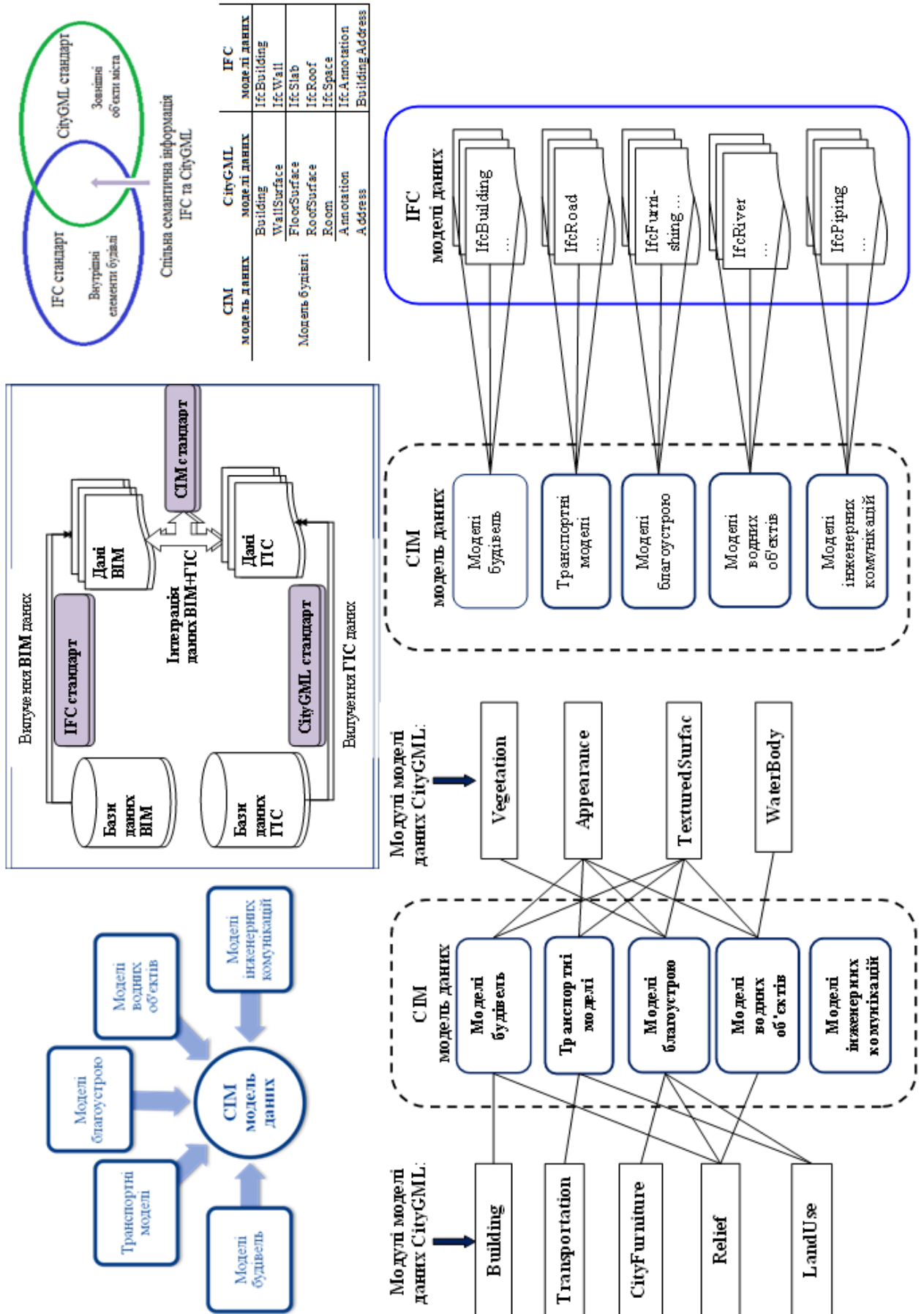


Рисунок 24 – Компоненти CIM методології

Надано рекомендації керівникам проєктів для ефективного впровадження BIM-технологій в діяльність будівельної компанії. Розроблено модель організаційних трансформацій в системі управління проєктами при впровадженні BIM-технологій та модель BIM-команди управління проєктами в будівельній компанії повного циклу (рис. 25). Визначено ролі і коло задач для BIM-менеджера, BIM-координатора та BIM-автора як розробника ЦІМ ОПП. Завершальні модулі комплексу прикладних програм здійснюють підсумкову оцінку рішень проєкту забудови та територіального відновлення за інтегральним критерієм (рис. 26).

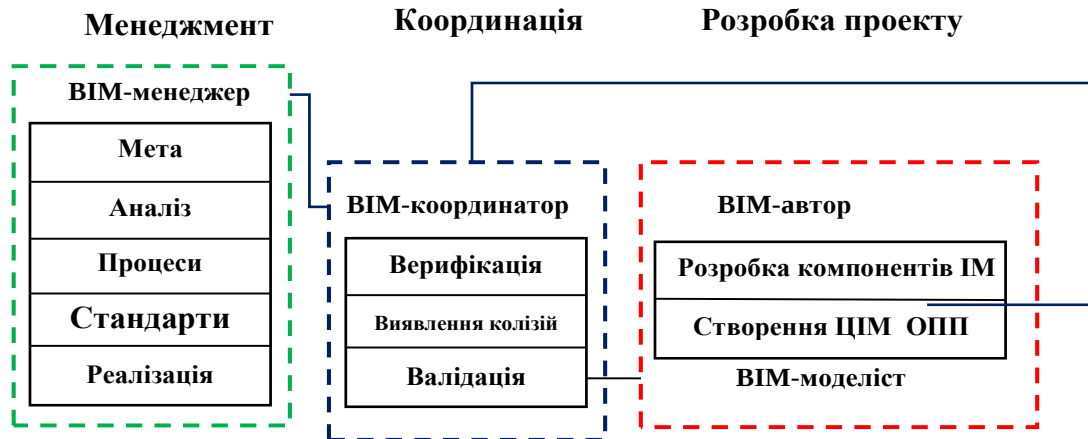


Рисунок 25– Модель BIM-команди управління проєктами

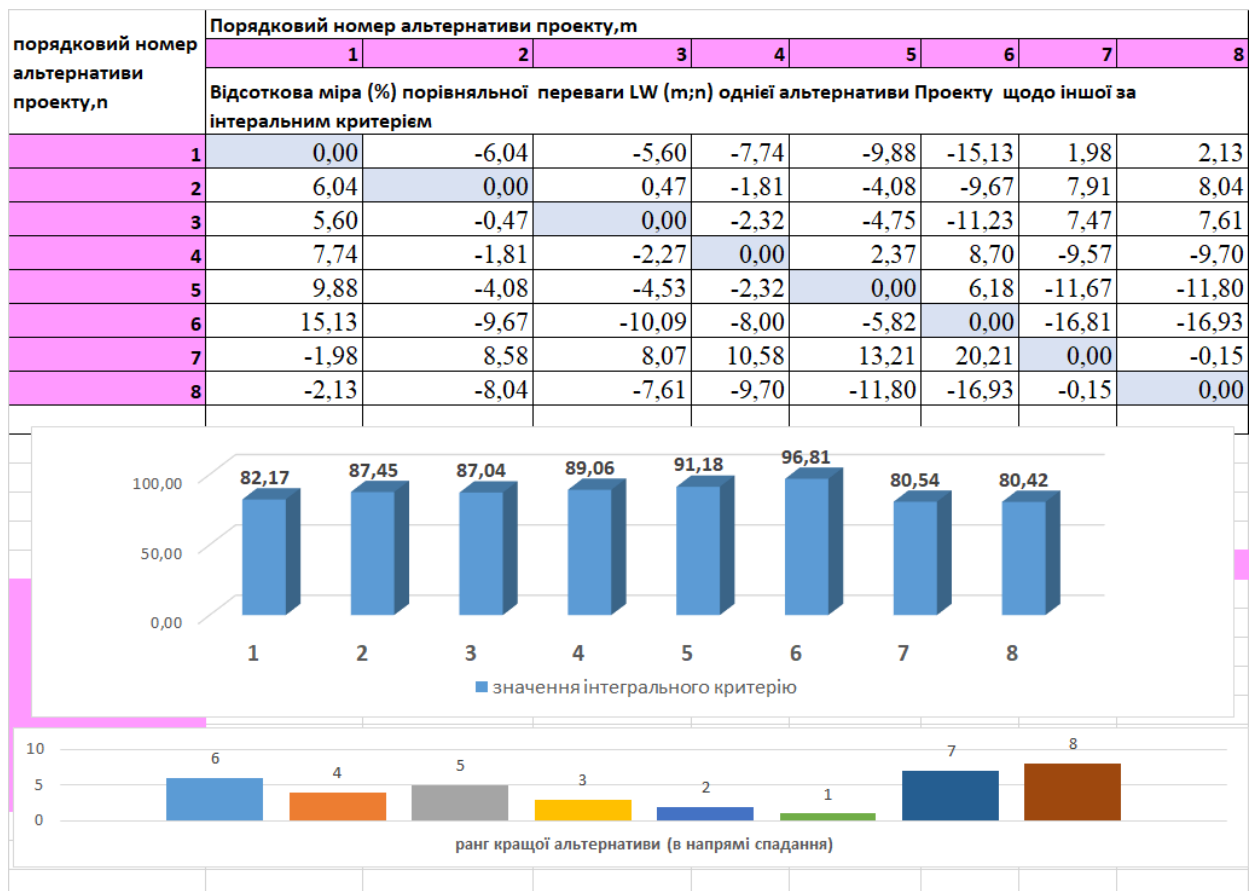


Рисунок 26– Вияв відсоткових порівняльних переваг окремих альтернатив будівельного проєкту за інтегральним критерієм

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І 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 і модель об'єктно-просторової системи (ОПС), які уможливили сформуванати 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 дасть 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 уможливлює 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. У 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 прийняття 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 проєкту. В результаті запропоновано дві моделі організаційних перетворень системи BIM-управління проєктом і команди BIM-управління проєктом, які є одночасно "мозком" і основним ресурсом, що визначають якість управління, взаємодії, підтримки і успіх командної роботи над проєктом.

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 проєктами будівництва і ревіталізації, а саме на: формування стратифікованого за етапами, роботами та виконавцями проєкту цифрового багатовимірної масиву «цілових показників» та «бюджетно-ресурсних обмежень»; розробку «віртуальних майданчиків»; уніфікацію критеріїв класифікації IFC- та CityGML-систем.

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. Vol. 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. *ARPJ 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., Ilarionov 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, 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.

Автору належить розробка підходів оновлення взаємодії формальної та неформальної структури організації з позицій модернізації підходів до цифрового управління проєктами 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 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.**, 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 потягом 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.

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.

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. 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 проєктами 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 проєктом.

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** 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., Zinchenko 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. 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)

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. Р. 389–390.

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

51. Сапасєв 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. Р. 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»*. 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. 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. **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.

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

64. **Гончаренко Т.,** Клевцов М., Гриневич Д. Інформаційне середовище загальних даних BIM-моделювання для вирішення задач генерального планування, *International Scientific-Practical Conference of young science "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. Р. 334–335.

Автору належить розробка цифрового моделювання процесів та структури адміністрування будівельного проєкту в термінах агрегування сутностей.

66. 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. Р. 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 СІМ 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 проєктами 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.

АНОТАЦІЯ

Гончаренко Т. А. Методологічні основи формування єдиного інформаційного середовища для автоматизації об'єктно-просторових систем в проєктах будівництва. – 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 процеси 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 і водночас як об'єктів міського простору, що долає наявні науково-методологічні протиріччя, пов'язані з потребою врахування суперечливих інтересів різних стейкхолдерів будівельно-інвестиційного процесу. Результати дослідження в сукупності формують формалізоване інформаційне середовище узгодження геоінформаційних, топографічних та інших параметрів зі стратегічними пріоритетами містобудування та територіального розвитку.

Практична цінність дослідження визначається розробкою спеціалізованих програмних засобів для автоматизації функціональних задач

генерального планування і підготовки проєктів планувальних рішень із застосуванням інтегрованої платформи обробки просторової, атрибутивної та топологічної інформації на основі BIM-орієнтованого програмного комплексу.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання; об'єкти просторового планування (ОПП); єдине інформаційне середовище інтеграції інформації; цифрова інформаційна модель ОПП; життєвий цикл будівельного проєкту; інформаційне моделювання будівельних об'єктів; інформаційне моделювання міського середовища, інтеграція BIM– та GIS– технологій; CIM–методологія; цифровий двійник міських об'єктів.

ANNOTATION

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

Thesis for a Doctor degree in Technical Sciences in specialty 05.13.06 – information technologies – Kyiv National University of Construction and Architecture, 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– 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.