

Гончаренко Тетяна Андріївна

Кандидат технічних наук, доцент, докторантка кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, доцент кафедри інформаційних технологій,

<https://orcid.org/0000-0003-2577-6916>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ТА РОЗРОБКИ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ МІСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

Анотація. Сучасним етапом розвитку будівельної галузі є її цифровізація, що вимагає трансформації процесів і моделей на основі використання сучасних інформаційних технологій (ІТ) для розробки цифрових платформ і двійників. Міське планування – це складний процес контрольованого розвитку міста, і проблема цифровізації міста як системи в цілому не втратила своєї актуальності. У дослідженні розглянуто проблему вибору, застосування й інтеграції сучасних інформаційних технологій для моделювання міського середовища та створення цифрових двійників об'єктів міста як компонентів системи "Розумне місто" (англ. Smart City). Проведено огляд основних ІТ для застосування методологічної платформи інформаційного моделювання міст (City Information Modelling) на основі Building Information Modeling (BIM), Geographic Information System (GIS) та Internet of Things (IoT) технологій, які дають змогу об'єднати міські дані різних просторових масштабів та часових вимірів. Запропоновано концептуальну схему ІТ для управління міським простором на основі інтеграції трьох компонентів: системи штучного інтелекту Artificial intelligence, технології Big Data та методологічної платформи CIM. Досліджено вимоги для вибору інформаційної технології створення цифрового двійника міського об'єкта, що надало можливість запропонувати схему інтеграції ІТ моделювання міського середовища і створення цифрового двійника міста. Така інтеграція допоможе ефективно обробляти великі і складні набори даних, використовувати інформацію про минуле і сьогодення для прогнозування майбутнього, реалізувати цифрове відтворення фізичного об'єкта і створити цифровий міський просторовий об'єкт, а саме CIM-об'єкт, який має стати цифровою основою для інтелектуального планування, будівництва, управління та експлуатації розумного міста.

Ключові слова: інформаційне моделювання міського середовища; CIM, BIM, GIS, IoT, Big Data, Artificial intelligence; цифрові двійники міських об'єктів; розумне місто

Актуальність та аналіз проблеми

Міське планування – це складний процес контрольованого розвитку міста. Збирання даних, аналіз, прогнозування та оцінка, визначення цілей та публічні обговорення є одним із багатьох питань, які мають охопити містобудівники [1]. З впровадженням нових ІТ зі збирання, зберігання та аналізу даних стає можливим покращення якості життя, міських послуг та стійкості розвитку урбанізованого простору. Розвиток розумних міст є складним процесом, який складається з множини різних систем, типів даних та наборів інформації, а також описує взаємодію між міськими системами і зацікавленими сторонами. Міське інформаційне моделювання (City Information Modelling – CIM) та цифрові двійники міст (Urban Digital Twins – UDT) – це два види технологічних

практик, які можуть бути використані для надання допомоги містобудівникам у розробці розумних міст, які мають бути стійкими, безпечними та придатними для життя людини.

CIM визначається як практика використання інтерактивних цифрових технологій у межах процесу міського планування [2]. Концепція CIM виникла як еволюція інформаційного моделювання будівель (BIM), у якому використовують технологію для створення цифрової моделі будівлі, що вимагає збирання, аналізу та візуалізації даних для прийняття обґрунтованих рішень. UDT поєднує 3D-моделі міст з динамічними даними, зібраними за допомогою датчиків і геопросторових систем, щоб допомогти краще зрозуміти життєдіяльність міста. Такий підхід ґрунтується на концепції правдоподібності для розробки статичної структури з динамічними властивостями [3].

Традиційний підхід щодо створення цифрового двійника міста в роботах [4–7] полягає в розробці цифрових моделей, які мають представляти топографію міста та пов'язані з нею просторові об'єкти. Однак із швидким розвитком інформаційних технологій (ІТ) висувається більше вимог до цифрових моделей, які мають надавати не тільки реалістичне графічне візуальне зображення, але й вбирати відповідні геометричні та семантичні дані. Такі моделі можна розділити на дві категорії:

1. Проектні моделі, які представляють заплановані до зведення окремі будівлі та території, що їх оточують. Такі моделі вирішують архітектурно-конструкторські завдання і задачі генерального планування. Основна увага приділяється тому, як представити максимальний рівень деталізації проекту, щоб цифрова модель була максимально наближена до того, що буде побудовано в майбутньому [8].

2. Існуючі моделі, які надають уявлення про наявні містобудівні об'єкти у вигляді геопросторової інформаційної системи. Існуючі моделі готові отримати проектні моделі для вивчення взаємодії між цими категоріями [9].

Застосування ІТ для успішного розв'язання містобудівних задач полягає в необхідності картографування існуючого міського середовища, злиття його із передбачуваними проектними розробками та прогнозування того, як результат вплине на наявні компоненти міської системи [10]. Задача ІТ полягає в тому, щоб стати ефективним інструментом, який дасть змогу раціоналізувати існуючі переваги ресурсів міста, що допоможе вирішити проблеми і виклики, пов'язані зі складністю міських систем. ІТ можуть надати багато альтернативних рішень для розглядуваної проблеми і допомогти у прийнятті рішень, надавши вагомі докази, якщо прийнята містобудівна концепція працює для її реалізації.

У роботах [11 – 14] автором було виконане дослідження можливості використання багатовимірних моделей даних для комп'ютерного моделювання міської території під забудову. У роботах [15 – 18] автором показана ефективність інтеграції просторової інформації для розв'язання задач територіального планування. Система міського середовища дуже складна, і включає не тільки статичну модель навколишнього середовища, але й динамічні містобудівні об'єкти. У такій системі виробляється велика кількість інформації, але корисною така інформація є в тій мірі, в якій вона може бути з користю застосована для системи. В епоху інформаційного вибуху важливо відбирати якісні джерела даних для прийняття компетентних рішень. Для того щоб ефективно витягати корисні дані з масивів інформації, слід спочатку упорядкувати цю інформацію.

Мета статті

Метою статті є дослідження проблеми вибору, застосування та інтеграції сучасних інформаційних технологій (ІТ) для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів у складі системи "Розумне місто" (англ. Smart City), розробка якої відповідає актуальним потребам містобудівного планування і розвитку міського середовища в цілому.

Виклад основного матеріалу

Інформаційні технології для моделювання міського середовища

Методологія інформаційного моделювання міст (City Information Modelling, скорочено – CIM) зазвичай складається з 3D інформаційного комплексу на основі BIM, GIS та IoT технологій (рис. 1), які допомагають об'єднати міські дані різних просторових масштабів та часових вимірів. Певною мірою під технологію CIM можна розуміти розширення технології BIM до меж міста, що надає можливість тривимірної візуалізації, координації обміну даними, моделювання та динамічної оптимізації інформації.

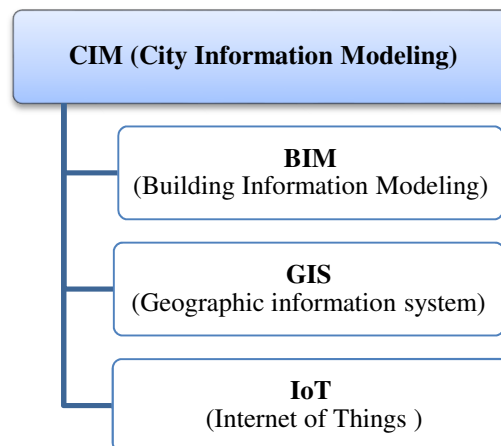


Рисунок 1 – ІТ для моделювання міського середовища

Геоінформаційна система (англ. Geographic information system (GIS)) належить до технологій збирання, зберігання, управління, обчислення, аналізу, відображення та опису даних, пов'язаних з географічним розподілом у просторі земної поверхні (включаючи атмосферу), які можуть чітко показувати взаємозв'язок між будівлями та географічним середовищем і володіють потужними можливостями просторового комплексного аналізу [19]. За допомогою GIS, CIM можна реалізувати в єдиній системі просторових координат управління та аналіз 2D та 3D даними у великих масштабах. У порівнянні з BIM GIS приділяє більше уваги можливостям управління макроданими і просторовому аналізу в міському масштабі.

Крім того, GIS, як важливий метод опису макрогеографічного просторового середовища міста, підтримує з'єднання незалежних BIM-моделей окремих об'єктів у модель цілого міста.

Технологія Інтернет-речей (англ. Internet of Things (IoT)) – це мережева система, заснована на мережі Інтернет та традиційних телекомунікаційних мережах, яка об'єднує різне обладнання для зчитування інформації. Така технологія дає змогу реалізувати взаємозв'язок людей, машин і речей в будь-який час і в будь-якому місці [20]. IoT можна розглядати як "нейронну мережу" CIM. Завдяки своїй можливості динамічного моніторингу, IoT надає CIM оновлені міські експлуатаційні дані майже в реальному часі. Застосування IoT технологій в CIM є ключем до просування CIM – від статичного опису до динамічного сприйняття.

Інтеграція технологій BIM, GIS та IoT допомагає реалізувати цифрове відтворення фізичних міст, створюючи об'єктивний, майже в реальному часі, і складний цифровий міський просторовий об'єкт, а саме CIM-об'єкт, який має стати цифровою основою для інтелектуального планування, будівництва, управління та експлуатації міста. Крім того, з розвитком сучасних інформаційних технологій, такі технології, як системи штучного інтелекту (англ. Artificial intelligence (AI)) і Big Data також визнаються ключовими технологіями для моделювання міського середовища [21]. Володіючи потужними можливостями обробки даних і навчання, штучний

інтелект стане центральною нервовою системою CIM, що допоможе оптимізувати можливості розпізнавання даних за рахунок великого обсягу тестування і навчання на основі зібраних з різних джерел даних [22]. Крім того, в поєднанні з моделями тестування даних, поліпшується здатність CIM прогнозувати тенденції розвитку міста, а отже, з'являється можливість здійснювати автоматичне сприйняття й імітаційне прогнозування умов експлуатації міст в будь-який момент часу і простору. Наприклад, для визначення можливості розширення міських земель користувачі зможуть проаналізувати історичні дані про структуру міських земель на платформі CIM та узагальнити їх з даними про зміну мети землекористування в теперішній час, щоб передбачити можливу зміну призначення міської території землекористування в майбутньому.

Застосування Big Data вирішує проблеми аналізу та опрацювання великомасштабних і складних наборів даних в CIM. Водночас, враховуючи потреби CIM в технічній підтримці діяльності всього міста, Big Data надає низку параметрів, які налаштовуються відносно тематичних моделей оцінки й аналізу, включаючи населення, транспорт, громадські послуги та інші сфери життєдіяльності для всебічного поліпшення можливостей інтелектуального аналізу CIM для міського середовища. На рис. 2 наведено трикомпонентну концептуальну схему ІТ «ABC» (A – Artificial intelligence, B – Big Data, C – CIM) для управління міським простором.

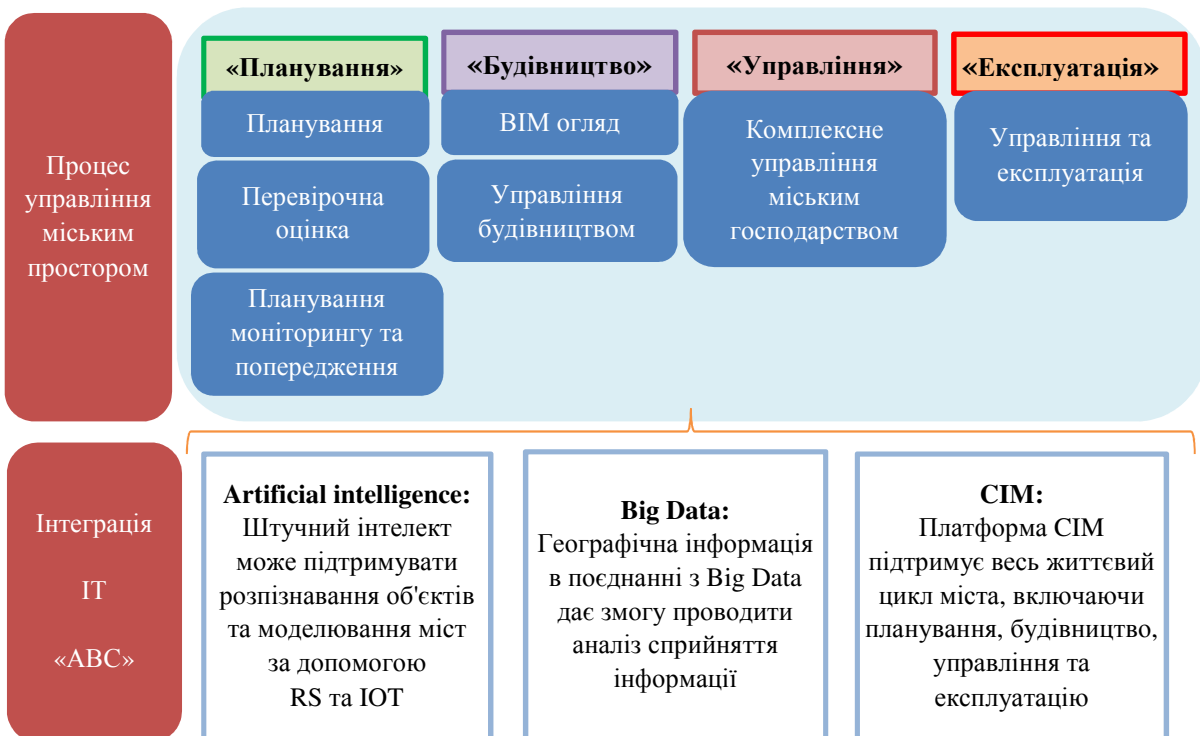


Рисунок 2 – Концептуальна схема ІТ для управління міським простором

Інформаційні технології для створення цифрових двійників міських об'єктів

На вибір інформаційної технології для розробки цифрового двійника міського об'єкта впливає середовище моделювання, яке охоплює різні рівні деталізації проекту, починаючи від будівель і закінчуючи об'єктами інфраструктури міст. Такі інформаційні технології є BIM орієнтованими, оскільки базуються на процесі проектування об'єкта будівництва. Основними джерелами даних таких IT є об'єктно-орієнтовані моделі, але це не означає, що BIM технологія заснована на програмному забезпеченні для розробки цифрових моделей. Дані зберігаються в системах, які знаходяться за межами основного робочого проекту, окремо від BIM, але метадані пов'язують їх всі разом протягом життєвого циклу в єдиному середовищі загальних даних. Наприклад, при плануванні будівлі необхідно врахувати вибір місця розташування, і схеми руху транспорту, і доступність комунальних послуг за ціною, і питання інсоляції та тінювого аналізу тощо.

На стадії проекту цифрові двійники об'єкта створюються для різних варіантів використання, які мають виконувати своє функціональне призначення та приносити користь власнику. Моделювання застосовується для підтримки прийняття проектного рішення таких варіантів, а використання датчиків IoT допомагає визначити ефективність експлуатації майбутнього міського об'єкта на основі його цифрового двійника. Приклад цього взаємозв'язку можна продемонструвати в ситуації, в якій власник земельної ділянки має розробити варіанти її використання та прийняти оптимальне проектне рішення, яке одночасно б відповідало стратегії територіального розвитку міста і принесло б власний цільовий прибуток. Ключовим моментом є те, що цифровий проект не може суперечити будівельним нормам і правилам, він має демонструвати відповідність планам розвитку міської інфраструктури.

На жаль, цифровий процес все ще стикається з проблемою розрізаних даних: потрібен величезний обсяг ручної роботи для включення цих даних для забезпечення дотримання вимог відповідності, а також для задоволення потреб власника. Іншою проблемою є походження даних, тобто забезпечення того, щоб дані були кваліфікованими, точними і верифікованими. Якщо якість даних не гарантована, проектне рішення завжди буде пов'язане з ризиком. Було б ідеально, якщо б існував якийсь централізований орган для сертифікації якості даних. Без цього відповідальність за якість даних залишається за власником, бо саме він є замовником розробки цифрового двійника будівельного проекту і довіряє своїм власним даним.

Розробникам моделей міст і міського дизайну також необхідно почати вирішувати більш складні питання, пов'язані з цифровими двійниками міських об'єктів, а саме: геологічним представленням, створенням цифрового двійника підземного міста та наявної інфраструктури, щоб уникнути ситуацій, коли на об'єктах виявлені шкідливі кабелі/труби або земля, що призводить до значних затримок і додаткових витрат.

Створення цифрових двійників об'єктів будівництва в міському середовищі має починатися із застосування GIS технології для отримання інформації про забудовану частину міста поряд з великим обсягом даних із систем, які знаходяться за межами основного робочого процесу BIM. Основна увага при розробці цифрового двійника приділяється варіантам використання, пов'язаним з вигодами для бізнесу і точками зору різних зацікавлених сторін. Моделювання використовується для підтримки цих варіантів використання, а технологія IoT застосовується для розуміння продуктивності варіантів використання. Дані з цих варіантів використання об'єднуються в озера даних, а для забезпечення розуміння і навчання використовується звичайна бізнес-аналітика і штучний інтелект. На рис. 3 наведено схему інтеграції IT для моделювання міського середовища і створення цифрових двійників міських об'єктів (Urban Digital Twins).

Висновки

Проведене дослідження дає змогу зробити висновок, що при виборі інформаційної технології для моделювання міського середовища і створення цифрового двійника міста на основі методології CIM необхідно врахувати три аспекти:

1. Інформаційно насичена 3D-модель міста має бути заснована на об'єднанні BIM і GIS технологій.

2. Використання технології IoT дасть змогу отримувати оновлені міські оперативні дані в режимі реального часу.

3. Технології Big Data та AI допомагають ефективно обробляти великі і складні набори даних в CIM, а також дають змогу використовувати інформацію про минуле і сьогодення для прогнозування майбутнього.

BIM надає спосіб інтеграції атрибутивної та просторової інформації про конкретні об'єкти в межах міста і засоби використання даних для розробки 3D-моделей. GIS дає змогу інтегрувати ці конкретні об'єкти для отримання повної картини про місто як системи в цілому і допомагає встановити взаємозв'язок між будівлями і географічним середовищем. IoT дає змогу збирати і об'єднувати безперервні потоки інформації про навколишнє середовище і може показати взаємозв'язок речей в місті в будь-який час і в будь-якому місці.

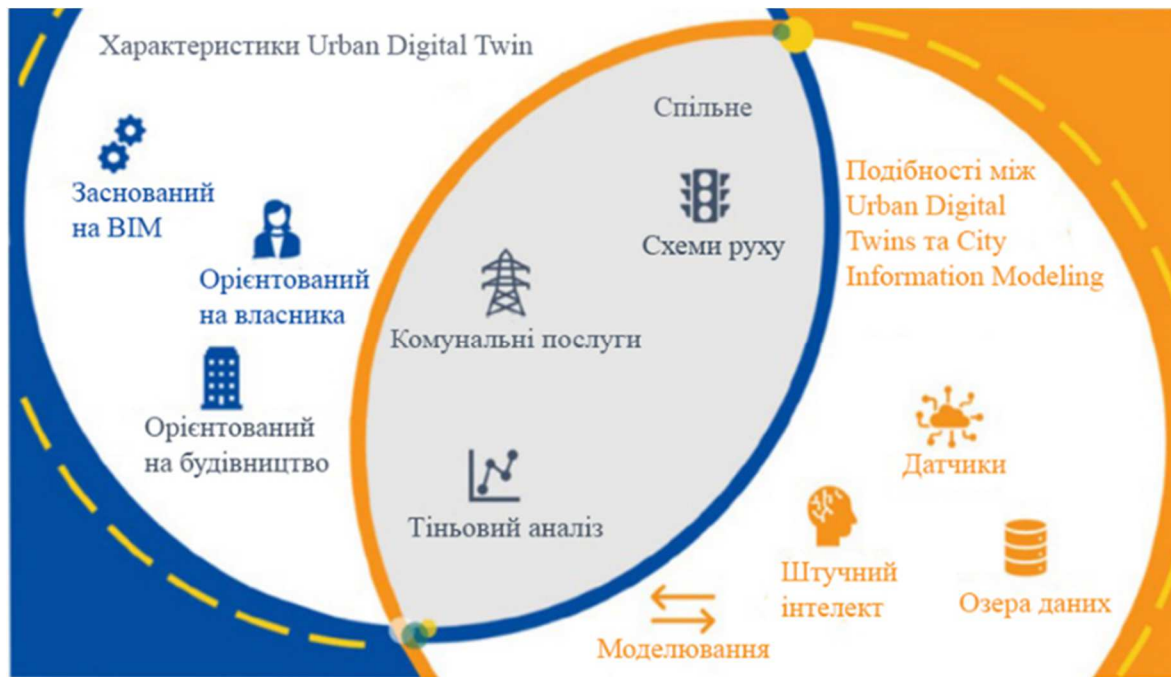


Рисунок 3 – Схема інтеграції ІТ для моделювання міського середовища (City Information Modelling) та створення цифрових двійників міських об'єктів (Urban Digital Twins)

Застосування технологій Big Data вирішує проблеми аналізу та опрацювання великомасштабних і складних наборів даних і надає низку тематичних налаштовуваних моделей оцінки та аналізу, що охоплюють такі сфери, як населення, транспорт, промисловість і громадські послуги. AI (штучний інтелект) оптимізує можливості розпізнавання даних CIM за допомогою тестування та навчання на основі даних з різних інформаційних джерел. Це надає CIM можливість краще прогнозувати тенденції міського розвитку, а також краще планувати і керувати містом.

В Україні методологія CIM ще перебуває на ранніх стадіях свого розвитку і потребує продовження інтеграції і застосування нових технологій, таких як віртуальна реальність (англ. Virtual Reality – VR) і Блокчейн (англ. Blockchain), щоб адаптуватися до складності міського розвитку. Крім того, щоб задіяти поглиблене застосування запропонованих інформаційних технологій в різні сфери життєдіяльності міста, потрібно на основі CIM методології розробити систему "Розумне місто" (англ. Smart City), що відповідає актуальним потребам розвитку міського середовища в цілому.

Список літератури

1. Eastman, C. M., et al., BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2011: John Wiley & Sons.
2. Xu, X., et al., From building information modeling to city information modeling in *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, 2014, 19: pp. 292–300.
3. Sirakova T. A. Urban Planning: from GIS and BIM straight to CIM. Practical application in the urban area of Porto, 2018, 145 p.
4. Volkov, A., Chulkov, V., Kazaryan, R., Gazaryan, R. (2014). С cycle reorganization as model of dynamics change and development norm in every living and artificial beings. *Applied Mechanics and Materials*, 584–586, 2685–2688.
5. Wang, X., Wong, J., Li, H., Chan, G., Li, H. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 281 – 291.
6. The BIM Project Execution Planning Guide and Templates – Version 2.1, Penn State; http://bim.psu.edu/Uses/the_uses_of_bim.pdf
7. Гончаренко, Т. А. Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2020. № 42. С. 93 – 101, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101).

8. Гончаренко, Т. А. Інтеграційна модель життєвого циклу території будівлі на основі BIM. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2020. № 43. С. 83 – 90, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.83–90.
9. 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*, 8(10), October 2020, pp. 7337-7343, <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1108102020> (SCOPUS).
10. Mihaylenko V., Honcharenko T., Chupryna K., Andrashko Yu., Budnik S. Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects in 'International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)', Volume-8 Issue-6, August 2019, Page No. 3934-3940. URL: <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i6/F9057088619.pdf>.
11. Гончаренко Т. А. Верифікація інформаційних моделей об'єктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2019. № 39. С. 69 – 74; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340656.
12. Гончаренко Т. А., Михайленко В. М. Застосування методів багатовимірної аналізу даних для моделювання території під забудову. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: *Інформатика та моделювання*. Київ, 2019. № 28 (1353). С. 5–15. DOI: 10.20998/2411-0558.2019.28.02
13. Honcharenko T., Mihaylenko V., Lyashchenko T. Integration of bim and cal technologies for information modeling in construction, XV Міжнародної науково-практичної конференції “Prospects for the development of modern science and practice”, 11-12 травня 2020 р., Грац, Австрія.
14. Kuchansky A., Biloshchytskyi A., Andrashko Yu., Biloshchytska S., Honcharenko T., Nikolenko V. “Fractal time series analysis in non-stationary environment”, 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings, 2019, pp. 236-240. (SCOPUS).
15. Honcharenko T., Lyashchenko T., Lyashchenko M. Information technologies for 3D modeling for construction and architecture, Sixth international scientific-practical conference “Management of the development of technologies”, Kyiv, KNUCA, 2019, pp. 80–82.
16. Гончаренко Т. А. Інформаційна технологія створення інтегрованої цифрової моделі території під забудову, XXVII Міжнар. наук.-практ. конф. «Microcad-2019», Харків 2019. С. 137–138.

Стаття надійшла до редколегії 12.07.2022

Honcharenko Tetiana

PhD(Eng.), Assistant Professor, doctoral student of the department of information technologies of design and applied mathematics, associate professor of the department of information technologies, <https://orcid.org/0000-0003-2577-6916>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SIMULATION OF THE URBAN ENVIRONMENT AND CREATION OF DIGITAL DUPLICATE OF CITY OBJECTS

Abstract. The current stage of the development of the construction industry is its digitalization, which requires the transformation of processes and models based on the use of modern information technologies (IT) for the development of digital platforms and duplicates. Urban planning is a complex process of controlled development of the city, and the problem of digitalization of the city as a system as a whole has not lost its relevance. The research examines the problem of selection, application and integration of modern information technologies for modeling the urban environment and creating digital duplicates of city objects as components of the Smart City system. An overview of the main IT for the application of the methodological platform of information modeling of cities (City Information Modeling) based on Building Information Modeling (BIM), Geographic Information System (GIS) and Internet of Things (IoT) technologies, which make it possible to combine city data of various spatial scales and time dimensions. A conceptual IT scheme for urban space management is proposed based on the integration of three components: the Artificial Intelligence system, Big Data technology, and the CIM methodological platform. The requirements for the selection of information technology for the creation of a digital double of an urban object were studied, which made it possible to propose an integration scheme of IT modeling of the urban environment and the creation of a digital double of the city. Such integration will help to efficiently process large and complex data sets, use information about the past and present to predict the future, implement digital reproduction of a physical object and create a digital urban spatial object, namely a CIM object, which should become a digital basis for intelligent planning, construction, management and operation of a smart city.

Keywords: information modeling of the urban environment; CIM, BIM, GIS, IoT, Big Data, Artificial intelligence; digital duplicates of city objects; smart city

References

1. Eastman, C. M., et al. (2011). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons.
2. Xu, X., et al. (2014). From building information modeling to city information modeling in *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, 19, 292–300.
3. Sirakova, T. A. (2018). Urban Planning: from GIS and BIM straight to CIM. Practical application in the urban area of Porto, 145.
4. Volkov, A., Chulkov, V., Kazaryan, R., Gazaryan, R. (2014). Cycle reorganization as model of dynamics change and development norm in every living and artificial beings. *Applied Mechanics and Materials*, 584–586, 2685–2688.
5. Wang, X., Wong, J., Li, H., Chan, G., Li, H. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 281–291.
6. The BIM Project Execution Planning Guide and Templates – Version 2.1, Penn State; http://bim.psu.edu/Uses/the_uses_of_bim.pdf
7. Honcharenko, Tetyana. (2020). Cluster method of forming metadata of multidimensional information systems for solving general planning problems. *Management of Development of Complex Systems*, 42, 93–101. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101)
8. Honcharenko, Tetyana. (2020). Integration model of the life cycle of the building area based on BIM. *Management of Development of Complex Systems*, 43, 83–90. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.83-90](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.83-90).
9. Kulikov, P., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Ryzhakov, D., Malykhina, O. (2020). OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(10), 7337-7343. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1108102020>.
10. Mihaylenko, V., Honcharenko, T., Chupryna, K., Andrashko, Yu., Budnik, S. (2019). Modeling of Spatial Data on the Construction Site Based on Multidimensional Information Objects. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8, 6, 3934-3940. URL: <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i6/F9057088619.pdf> (SCOPUS).
11. Honcharenko, Tetyana. (2019). Verification of information models construction objects. *Management of Development of Complex Systems*, 39, 69–74; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340656](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340656).
12. Honcharenko, T. & Mihaylenko, V. (2019). Application of methods of multidimensional data analysis for modeling of the territory under construction. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Series: Informatics and modeling*, 28 (1353), 5–15. DOI: 10.20998/2411-0558.2019.28.02
13. Honcharenko, T., Mihaylenko, V., Lyashchenko, T. (2020). Integration of bim and calcs technologies for information modeling in construction, XV International Scientific and Practical Conference "Prospects for the development of modern science and practice", May 11-12, 2020, Graz, Austria.
14. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Honcharenko, T., Nikolenko, V. (2019). Fractal time series analysis in non-stationary environment. IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings, 2019, pp. 236–240.
15. Honcharenko, T., Lyashchenko, T., Lyashchenko, M. (2019). Information technologies for 3D modeling for construction and architecture. Sixth international scientific-practical conference "Management of the development of technologies", Kyiv, KNUCA, 2019, pp. 80–82.
16. Honcharenko, T. (2019). Information technology for creating an integrated digital model of the building area, XXVII International Scientific and Practical Conference "Microcad-2019", Kharkiv, p. 137–138.

Посилання на публікацію

- APA Honcharenko, T. (2022). Modern information technologies for simulation of the urban environment and creation of digital duplicate of city objects. *Management of Development of Complex Systems*, 51, 87–93, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93).
- ДСТУ Гончаренко Т. А. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 51. С. 87 – 93, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93).