

Даншина Світлана Юрївна

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків

Нечаусов Артем Сергійович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, <https://orcid.org/0000-0001-7216-5566>

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків

Андрєєв Сергій Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків

КОМПОНЕНТНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ SMART CITY

Анотація. Стрімка глобальна урбанізація та зростання чисельності міського населення стають причиною появи серйозних, системних проблем, які критично негативно впливають на екологічну, економічну та соціальну стійкість міст. У цьому контексті пошук та впровадження ефективних моделей просторового розвитку, які забезпечують стійкість територіальної системи, а також підвищують її конкурентоспроможність та адаптивність в умовах мінливого зовнішнього середовища, є актуальним і стратегічним завданням міського менеджменту. Мета роботи – підвищення загальної ефективності управління міським середовищем шляхом поглибленої систематизації та критичного аналізу сучасного досвіду реалізації концепції розумних міст (Smart Cities), орієнтованих на ефективне інтелектуальне прийняття рішень. Об'єкт дослідження – поняття «розумне місто» і технології його реалізації в межах єдиного, інтегрованого інтелектуального управління міським середовищем. Визначено, що відсутність єдиного універсального визначення «розумного міста» та єдиних підходів до його реалізації вимагає необхідності системного осмислення цього поняття та дослідження еволюційних моделей смартизації. Вперше сформовано системне подання концепції Smart City з використанням трьох взаємодоповнюючих методів – вербального, графічного та алгебраїчного моделювання. Цей підхід акцентує увагу на її унікальних функціональних аспектах, зокрема, на наборах даних, архітектурі програмних рішень та функціональних показниках. Особливу увагу приділено ефективному використанню відкритих геопросторових даних (зокрема, OpenStreetMap) у поєднанні з інструментами 3D-моделювання. Такий інтегрований підхід забезпечує швидке та економічно ефективно створення достовірного цифрового середовища (цифрового двійника), що значно спрощує впровадження Smart City, гарантуючи гнучкість, масштабованість та адаптивність цих проєктів. Запропоновано формалізований компонентний підхід до проєктування Smart City, який регламентує проєктування функціональних модулів розумного міста з використанням компонентів існуючих програмних рішень, що підвищує загальну ефективність їх модернізації та масштабування, а також забезпечує необхідну гнучкість у інтеграції абсолютно нових технологій. Отримані результати можуть бути успішно впроваджені у високорівневі автоматизовані системи міського управління, де вони забезпечать комплексне моделювання, моніторинг та інтелектуальне прийняття рішень щодо довгострокового розвитку міської інфраструктури.

Ключові слова: розумне місто; регулярні схеми системних моделей; компоненти смарт-технологій; інструменти 3D-моделювання; цифрові двійники

Вступ

Зростання міського населення підвищує попит на інфраструктуру та доступне житло, збільшує споживання енергії, призводить до збільшення викидів парникових газів тощо. Високий рівень

людської активності, викликаний широкою моделлю міського проживання, стає причиною серйозних проблем, які негативно впливають на стійкість міст. Пошук адекватних та ефективних моделей просторового розвитку, покликаних забезпечити стійкість територіальної системи, підвищити її

конкурентоспроможність в умовах мінливого середовища, є актуальним завданням міського менеджменту. Значний потенціал і проблеми урбанізації на тлі визнаного зниження ефективності традиційних підходів до стратегічного планування територіального розвитку змушують уряди всього світу шукати інноваційні способи управління сучасними містами. Виникає необхідність у переосмисленні методологій управління розвитком територій з урахуванням високої мінливості оточуючого середовища та динамічного розвитку цифрових технологій у всіх сферах соціально-економічного життя сучасних міст. У зв'язку з цим використання концепції розумного міста вважають одним із найкращих рішень [1; 2].

Smart City або розумне місто – це концепція створення високотехнологічного міста, що інтенсивно розвивається, яка за допомогою нових технологій поєднує людей, інформацію й елементи міської інфраструктури для забезпечення високої якості життя населення [3]. Проте зазначимо, що такі зміни перспективні лише за ефективного поєднання комунікаційних та інформаційних технологій, що змінюють способи вирішення міських проблем відповідно до екологічних принципів, при збереженні тенденцій до економії ресурсів та досягнення цілей сталого розвитку. Цьому сприяє прогрес у розробленні сучасного програмного забезпечення, інтерфейсів користувача, комунікаційних мереж та Інтернету речей, переваги яких сприяють вирішенню певних міських проблем, створюють базу для аналізу даних, основу для вирішення міських проблем у економіці, охороні довкілля, забезпеченні мобільності й управління, перетворюючи міську інфраструктуру та послуги [3–5].

Розвиток і використання сучасних цифрових технологій дає змогу спростити й оптимізувати адміністрування та організацію життя в містах. За цих обставин вирішення міських проблем стає однією з найактуальніших тем сучасних наукових досліджень. Цей досвід побудови розумних міст вимагає свого вивчення та узагальнення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Протягом кількох десятиліть увага вчених зосереджена на питаннях вивчення досвіду покращення міст. Вони відмічають труднощі досягнення цілей сталого розвитку, визначають наявні бар'єри на шляху формування розумних міст, аналізують статистику реалізації міських інвестиційних проєктів, причини технологічного відставання та низької якості управління. При цьому дослідники зазначають, що 90% міст світу не мають офіційної стратегії розумного розвитку, а перевага надається впровадженню корпоративних технологій

без осмислення соціальних цілей [4–6]. Це призводить до суперечливого характеру розвитку міст, що потребує всебічного вивчення та систематизації властивостей, зокрема, із застосуванням методу бібліографічного аналізу. З його допомогою проводився аналіз наукових публікацій за період 2024 – середина 2025 рр. за ключовою ознакою «Smart City»; за основне джерело обрано базу даних ScienceDirect (URL: <https://www.sciencedirect.com>).

Огляд понад 450 публікацій за темою пошуку показав, що явно лідирує одна галузь знань – комп'ютерні науки (рис. 1): майже третина розглянутих праць (33 %) присвячена питанням використання інформаційних і телекомунікаційних технологій для стимулювання міського розвитку. У цьому контексті розумне місто – це місце, де традиційні мережі та послуги покращують за допомогою цифрових і телекомунікаційних технологій [5–7]. Це акцентує увагу на аналізі даних, забезпеченні кібербезпеки, впровадженні блокчейн-технологій тощо.

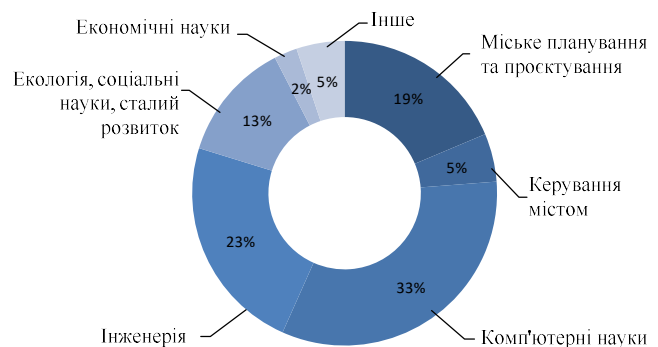


Рисунок 1 – Розподіл наукових публікацій, присвячених темі розумних міст, за предметними галузями в 2024 - середині 2025 рр. (складено авторами)

Вагому частку (23 %) займають дослідження в галузі інженерних наук. З інженерної точки зору концепцію розумного міста все частіше застосовують для оптимізації управління ресурсами та покращення громадських послуг шляхом інтеграції різних міських систем, зокрема, міської інфраструктури, транспорту, водопостачання, безпеки та енергетики [9].

Прискорення урбанізації вимагає від урядів і міських адміністрацій пошуку інноваційних способів підвищення стійкості міст, надання більш якісних громадських послуг і задоволення потреб мешканців, оскільки наявні міські ресурси та потенціал повністю використано [8; 10]. Ці питання розкрито в дослідженнях впливу концепції Smart City на міське планування та проєктування (19 % розглянутих публікацій). Вони висвітлюють досвід міського управління як відображення ефективної політики

планування розумних міст, їх адаптації до зміни клімату, покращення соціальних послуг, розбудови розумної інфраструктури для підвищення якості життя мешканців, диджиталізації взаємодії державного та приватного секторів тощо.

Збільшується частка досліджень (13 %) в галузі екології, соціальної сфери та сталого розвитку. З соціально-економічної точки зору розумні міста розглядають як інструмент перетворення економічного та соціального середовища міста на комфортне довкілля, спрямоване на досягнення цілей сталого розвитку [11]. У контексті створення розумних міст ці роботи розкривають питання проєктування, розуміння та просування екологічно та соціально стійкого міського середовища, розвитку чистого виробництва, зменшення та запобігання створенню відходів, підвищенню ефективності використання енергії, води, ресурсів та ін. [11; 12].

Зазначимо, що більшість публікацій розкриває лише досвід різних країн у реалізації концепції «розумне місто» або окремих її складових, але не визначає базових елементів самої концепції (рис. 2). Тут розумне управління є новим, заснованим на даних прогресивним підходом, який віддає пріоритет інтелектуальним операціям і сприяє розвитку розумних міст і країн. Велика частка цих публікацій (32 %) акцентує увагу на питаннях диджиталізації окремих послуг міста, впровадження в міську інфраструктуру відкритих цифрових стандартів для задоволення потреб мешканців, розповідає про процеси створення цифрового середовища обміну інформацією та співробітництва між керівництвом міст і його мешканцями [3; 8].

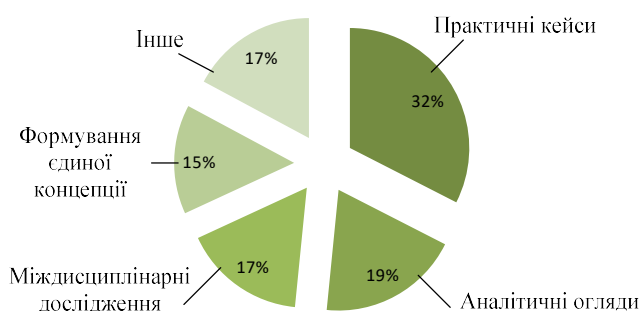


Рисунок 2 – Розподіл наукових публікацій за типами в 2025 р. (складено авторами)

Також бібліографічний аналіз підтверджує збільшення кількості аналітичних оглядів (19%), виявляє тенденції досліджень, ідентифікує їх цільові галузі [7–10]. При цьому значний відсоток публікацій (17%) відображує багатoproфільний характер досліджень, що виходять за межі конкретних галузей, узагальнюють досвід, що відбиває різні позиції, поєднує різні традиції й інтереси, охоплює питання інтелектуалізації міст на рівні урядів,

корпорацій, навчальних закладів і регіонів (наприклад, у роботах [11–13]).

Таким чином, не викликає сумніву необхідність впровадження та реалізації концепції Smart City як засобу прориву й інновацій сучасного цифрового життя. Однак, як щодо самого поняття «розумне місто», так і в підходах до його впровадження існують розбіжності, що в умовах «множинного бачення» ускладнює процеси реалізації концепції Smart City.

Мета дослідження

Мета статті – підвищення ефективності управління міським середовищем шляхом систематизації досвіду реалізації розумних міст, орієнтованих на інтелектуальне прийняття рішень.

Об'єкт дослідження – поняття «розумне місто» і технології його реалізації в межах єдиного інтелектуального управління міським середовищем.

Предмет – функціональні компоненти реалізації функцій «розумного міста» для інтелектуального управління міським середовищем.

Для досягнення мети слід дослідити досвід реалізації концепції Smart City, проаналізувати еволюцію формування «розумного міста» для визначення основних напрямів його застосування, запропонувати системне подання концепції Smart City, провести огляд сучасних технологій її реалізації та визначити тенденції їх розвитку.

Системне подання концепції Smart City

Осмислення поняття «розумне місто» визначає особливості існуючих моделей смартизації, дає змогу окреслити коло завдань, що вирішують під час їхньої практичної реалізації. Проте аналіз теоретичних та емпіричних статей, зареєстрованих у базі даних ScienceDirect, показує, що сьогодні не існує єдиного визначення терміну «розумне місто». Це можна пояснити тим, що, з одного боку, наявні публікації спрямовані на реалізацію конкретних функцій певної предметної галузі; з іншого – технології, пов'язані із реалізацією розумного міста, знаходяться на етапі активного формування й остаточно не визначені.

Так, найпоширенішою технологією реалізації ідей Smart City вважають Internet of Things (IoT). Це технологія створення мереж сенсорів, датчиків та інтелектуальних пристроїв, розміщених у різних частинах міста для безперервної реєстрації параметрів навколишнього середовища (рівень шуму, якість повітря, інтенсивність дорожнього руху, споживання ресурсів, метеорологічні показники тощо). Отримані дані не лише зберігають у відповідних сховищах, а й у режимі реального часу передають до централізованих платформ для подальшого аналізу [1; 15]. За цих обставин Smart City (розумне місто) – це система інтеграції датчиків

і взаємопов'язаних пристроїв для збирання та аналізу даних, побудована на принципах безперервного моніторингу з метою оптимізації розподілу ресурсів та управління міською інфраструктурою [15]. Це визначення бере за основу функції збору та передачі даних, а робота над створенням розумного міста перетворюється на вирішення питання впровадження технологій IoT. Тут розумне місто – фрагментована модель, яка вирішує окремі проблеми (забруднення, управління енергоспоживанням, охорона здоров'я, безпека та ін.) ізольовано, без визначення реальних потреб містян.

Інше визначення, наведене в працях [2; 8], яке в певних інтерпретаціях дуже часто зустрічається в наукових дослідженнях, під Smart City розуміє місто, яке використовує інформаційно-комп'ютерні технології для прийняття рішень щодо покращення наявної інфраструктури для вигоди мешканців і підприємств. Ці рішення базуються на даних, які із застосуванням технологій створення геометричних, просторових та інформаційних моделей міських елементів стають важливим інструментом міського інтелектуального будівництва. З їхнім використанням створюють цифрові моделі міст, за допомогою яких оцінюють реальну ситуацію та можливі наслідки урбанізації, формують рекомендації щодо можливих покращень. Але в такому визначенні відсутня загальна стратегія, яку поділяють усі зацікавлені сторони, тут увагу зосереджено на аналізі міських екосистем для пошуку відповіді на глобальні виклики сучасного міста [2; 8; 13].

З іншого боку, основний тренд у вивченні розумного міста показує, що під Smart City розуміють нову парадигму цілісного підходу до інтелектуального управління містом, яку спрямовано на досягнення найважливіших цілей сталого розвитку з поєднанням ключових елементів минулих планових зусиль [10]. Тут головним напрямом інтелектуалізації стає впровадження комплексних систем управління міським середовищем, які забезпечують надання тих послуг, які затребувані містянами, і насичення його сенсорними інструментами, що дають уявлення про «живе» місто, яке керується з їхньою допомогою [10; 16].

Отже, загальну модель Smart City доцільно розглядати як трирівневу систему, яка забезпечує послідовний перехід від збору даних про об'єкти, їхнє подання і подальший аналіз для керування міськими процесами:

$$\text{Sys} \rightarrow \text{UnSys} \rightarrow \text{El}, \quad (1)$$

де El – рівень елементів, який забезпечує збирання просторових та атрибутивних даних для подальшого опрацювання; UnSys – рівень підсистем, які виступають основою багаторівневої інтеграції та аналізу; Sys – рівень системи, відповідний за

прийняття рішень і кінцевий результат інтелектуалізації міста.

Під час формального опису розумного міста зосередимо увагу на його функціях, які переважно мають неформальний характер, і застосуємо технологію системного моделювання, принципи якої наведені в роботі [17]. Вона дає змогу отримати математично строгі відображення за одночасної наочності та легкості подання. Для цього:

Етап 1. Сформуємо вербальний опис функцій розумного міста у вигляді множини функцій $\{F_i^k\}$ за рівнями ієрархії $k = \text{Sys}, \text{UnSys}, \text{El}$ відповідно до виразу (1), приклад якого наведено в табл. 1.

Етап 2. Побудуємо графове подання функцій розумного міста. Для цього:

- кожному елементу множини $\{F_i^k\}$ поставимо у відповідність вершину графа, починаючи з верхнього рівня Sys;
- позначимо міжрівневі зв'язки між вершинами ієрархічного графа функцій на кожному k -му рівні;
- на кожному рівні декомпозиції визначимо внутрішньорівневі зв'язки між вершинами графа для розкриття послідовності трансформації даних у інтелектуальні рішення.

Етап 3. Формалізуємо одержане графічне подання функцій розумного міста. Для цього:

- поставимо у відповідність кожній i -й вершині графової моделі оператор u_i з регулярних схем системних моделей (PCCM);
- для позначення зв'язків між елементами графу використаємо базові операції PCCM.

Для отримання вербального опису функцій проаналізуємо вищенаведені поняття Smart City, визначимо основні функції, сформуємо їхній структурований перелік за рівнями ієрархії згідно (1). Результати цього етапу подано у вигляді табл. 1.

Для наочного подання подамо отриману множину функцій $\{F_i^k\}$ у вигляді графа (рис. 3).

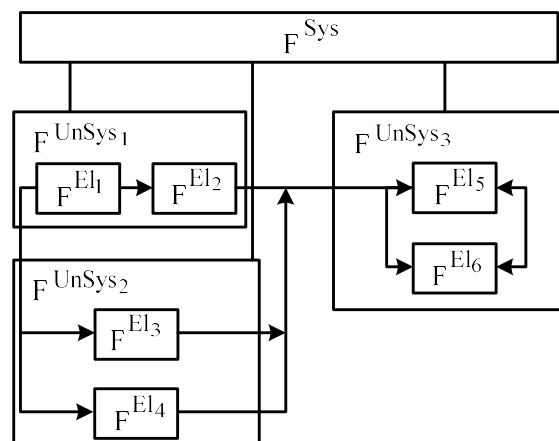


Рисунок 3 – Наочне подання ієрархії функцій розумного міста

Формалізуємо отриману ієрархічну структуру з використанням РССМ, причому для опису зв'язків елементів використаємо базові операції « $\dot{y}$ » (або процес множення – у випадку послідовного виконання функцій) і « $\hat{y}$ » (або процес кон'юнкції – при паралельному, одночасному виконанні функцій) із сигнатури базових операцій РССМ. Інші базові операції (умови та умовні оператори) не застосовуємо, оскільки на графічному поданні ієрархії функцій умовні переходи відсутні [17]. Отримаємо:

$$R_F = F^{Sys} = (y_1^{UnSys} \wedge y_2^{UnSys}) \cdot y_3^{UnSys} = (y_1^{El} \cdot y_2^{El} \wedge (y_3^{El} \wedge y_4^{El})) \cdot (y_7^{El} \wedge y_8^{El}), \quad (2)$$

де y_i – оператор ієрархічної моделі, який визначає відповідну функцію розумного міста на певному рівні декомпозиції згідно табл. 1.

Реалізація сформованої ієрархії Smart City можлива шляхом поєднання різноманітних цифрових технологій, кожна з яких виконує чітко визначену функцію в інтелектуальному управлінні міським середовищем (табл. 2).

Упорядкований за рівнями ієрархії вербальний опис множини компонентів смарт-технологій $\{TS_i^k\}$ подамо у вигляді ієрархічного графа (рис. 4).

Формалізуємо отриману ієрархічну структуру з використанням РССМ, використовуючи базові операції « $\dot{y}$ » і « $\hat{y}$ » із сигнатури базових операцій РССМ:

$$R_TS = TS^{Sys} = (y_1^{UnSys} \wedge y_2^{UnSys}) \cdot y_3^{UnSys} = (y_1^{El} \wedge \{y_2^{El} \cdot y_3^{El} \wedge y_4^{El} \cdot y_5^{El}\}) \cdot (y_6^{El} \wedge y_7^{El}), \quad (3)$$

де y_i – оператор ієрархічної моделі, який визначає відповідний компонент смарт-технології розумного міста на певному рівні декомпозиції згідно табл. 2.

Таблиця 1 – Перелік функцій розумного міста за рівнями ієрархії

Елементи множини функцій $\{F_i^k\}$	Позначення в моделі:	
	графовій	РССМ
Інтелектуальне управління міським середовищем	F^{Sys}	F^{Sys}
1 Моніторинг міського середовища	F_1^{UnSys}	y_1^{UnSys}
1.1 Збір даних у реальному часі	F_1^{El}	y_1^{El}
1.2 Передача даних в режимі реального часу	F_2^{El}	y_2^{El}
2 Описання міського середовища	F_2^{UnSys}	y_2^{UnSys}
2.1 Створення моделей міських об'єктів з відображенням їх характеристик	F_3^{El}	y_3^{El}
2.2 Створення цифрової моделі міського середовища	F_4^{El}	y_4^{El}
3 Аналіз та інтелектуальне прийняття рішень	F_3^{UnSys}	y_3^{UnSys}
3.1 Аналіз і прогнозування	F_5^{El}	y_5^{El}
3.2 Імітаційне моделювання та прийняття рішень	F_6^{El}	y_6^{El}

Таблиця 2 – Перелік компонентів технологій розумного міста за рівнями ієрархії

Елементи множини компонентів смарт-технологій $\{TS_i^k\}$ за рівнями ієрархії	Позначення в моделі:	
	графовій	РССМ
Смарт-технології інтелектуального управління міським середовищем	TS^{Sys}	TS^{Sys}
1 Компоненти технології збору та передачі даних у реальному часі	TS_1^{UnSys}	y_1^{UnSys}
1.1 Інтернет речей (IoT – Internet of Things)	TS_1^{El}	y_1^{El}
2 Компоненти технології цифрового подання міського середовища	TS_2^{UnSys}	y_2^{UnSys}
2.1 Системи автоматизованого проектування (CAD – Computer-Aided Design)	TS_2^{El}	y_2^{El}
2.2 Інформаційне моделювання будівель (BIM – Building Information Modeling)	TS_3^{El}	y_3^{El}
2.3 3D-візуалізація	TS_4^{El}	y_4^{El}
2.4 Геоінформаційні системи (GIS – Geographic Information Systems)	TS_5^{El}	y_5^{El}
3 Компоненти технології аналізу й інтелектуального прийняття рішень	TS_3^{UnSys}	y_3^{UnSys}
3.1 Технології штучного інтелекту (AI – Artificial Intelligence) та машинного навчання (ML – Machine Learning)	TS_6^{El}	y_6^{El}
3.2 Технологія цифрових двійників (Digital Twins)	TS_7^{El}	y_7^{El}

Отже, для реалізації функцій Smart City необхідною є система збору та передачі даних у реальному часі, яка забезпечує динамічний моніторинг міського середовища. У зв'язку з цим перспективною технологією є технологія IoT. Вона знаходить практичне застосування не тільки у створенні розумних будинків, а й при реалізації ідей розумного міста, допомагає підвищувати його ефективність і безпеку, відображаючи актуальний стан певної міської системи та забезпечуючи адаптивність Smart City до мінливих умов міського середовища [1; 15].

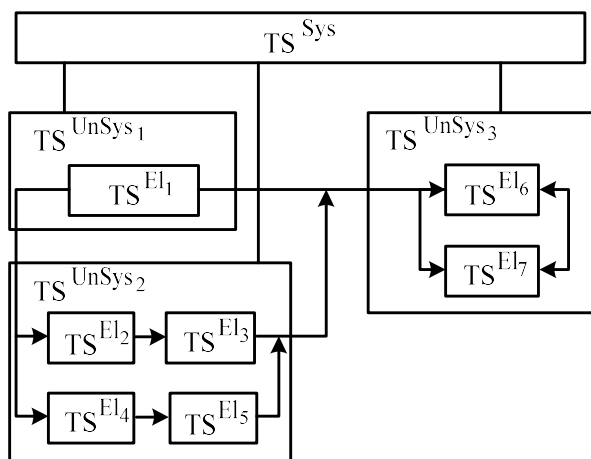


Рисунок 4 – Графове подання ієрархії взаємодії компонентів смарт-технологій розумного міста

Під час цифрового опису міського середовища застосовують базові технології створення геометричних, просторових та інформаційних моделей міських елементів. Тут ключова роль належить системам автоматизованого проектування (CAD) та інформаційного моделювання будівель (BIM), 3D-візуалізації та геоінформаційним системам (GIS) [14; 18; 19].

З використанням CAD проектують геометричні форми міських об'єктів, забезпечуючи основу для подальшого оцифровування. Технології BIM розширюють цю основу, додають до моделі не лише

геометричну, а й функціональну інформацію про будівлі та споруди, вказують конструкційні, матеріальні та експлуатаційні характеристики. GIS забезпечує просторову інтеграцію моделей у контекст реального географічного середовища, ув'язує їх із ландшафтом, транспортною мережею та іншими елементами міської інфраструктури. 3D-технології виконують функцію візуалізації простору, дають змогу створювати реалістичні цифрові середовища для симуляцій, презентацій і віртуального аналізу [13; 19]. У Smart City компоненти 3D-візуалізації та геоінформаційних систем (GIS) відіграють ключову роль при формуванні просторово-цифрового подання міського середовища. Їхнє значення виходить за межі простого візуального представлення – вони виступають основою для прийняття рішень на основі просторових та атрибутивних даних [18].

Сучасні технології аналізу та інтелектуального прийняття рішень поєднують технології штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML), що не лише виявляють приховані закономірності у великих обсягах даних, а й прогнозують майбутні сценарії розвитку подій. Алгоритми аналізу можуть, наприклад, передбачати пікові навантаження на транспортну систему міста, виявляти потенційні загрози у роботі інженерних систем або оптимізувати споживання енергоресурсів [9; 13].

Інтегральною ланкою в інтелектуальній трансформації міського управління стає технологія цифрових двійників (Digital Twins) – технологія створення динамічних віртуальних моделей об'єктів або систем, які не лише відображають їхній поточний стан, а й здатні реагувати на змінні параметри, моделювати поведінку у різних умовах, створюючи основу для прийняття ґрунтовних управлінських рішень [9; 13].

Зв'язок між визначеними функціями Smart City (табл. 1) і смарт-технологіями (табл. 2) наведений у табл. 3, де також указано загальні цілі, які досяжні з використанням означених технологій.

Таблиця 3 – Взаємозв'язок між функціями та компонентами смарт-технологій

Мета	Технології	Функція
Поліпшення якості життя населення	Smart City	Інтелектуальне управління містом
Актуалізація даних про стан міського середовища	IoT	Збір і передача даних у реальному часі
Презентація і симуляція об'єктів міського середовища	CAD, BIM	Створення креслень і цифрових моделей міських об'єктів
Віртуальний аналіз міського середовища	3D, GIS	Візуалізація та прив'язка до місцевості
Прогнозування сценаріїв розвитку подій	AI / ML	Інтелектуальна аналітика, формування прогнозів
Прийняття управлінських рішень за результатами моделювання	Digital Twins	Імітаційне моделювання та прийняття рішень

Поєднання зазначених технологій дає змогу досягти переваг інтелектуального управління в контексті реального міського середовища [11].

Огляд програмних рішень для реалізації Smart City

Для визначення ролі смарт-технологій у створенні сучасних систем управління містом розглянемо програмні рішення, які поєднують функції BIM, GIS, 3D, IoT та CAD у єдину систему для створення систем Smart City [11; 13; 15].

1. Autodesk InfraWorks
 - Категорія: CAD + BIM + GIS + 3D.
 - Функції:
 1. Імпорт 3D-моделей і геоданих (GIS shapefiles, LIDAR).
 2. Інтеграція з Revit, Civil 3D, BIM 360.
 3. Підтримка координатних систем, цифрових моделей рельєфу.
 - Призначення: проєктування інфраструктури, міського планування.
 - Роль у Smart City/Digital Twin: візуалізація сценаріїв розвитку територій, транспортних рішень, інженерної інфраструктури.
2. Esri ArcGIS CityEngine
 - Категорія: GIS + 3D-моделювання міста.
 - Функції:
 1. Генерація будівель за правилами CGA, створення 3D-міст, цифрових двійників.
 2. Інтеграція з ArcGIS Online, BIM (через IFC), OpenStreetMap.
 3. Вебпублікація у 3D Scene Viewer або Unreal Engine.
 - Призначення: містобудівний аналіз, зонування, урбаністичні симуляції.
3. Bentley OpenCities Planner / LumenRT
 - Категорія: GIS + BIM + 3D + IoT.
 - Функції:
 1. Підтримка IFC, Revit, CityGML, GIS shapefiles.
 2. Візуалізація потоків транспорту, енергії, людей.
 3. Інтеграція з IoT (через iTwin Platform).
 - Призначення: цифрові двійники міст, візуалізація рішень у реальному часі.
4. Hexagon M.App Enterprise / GeoMedia
 - Категорія: GIS + BIM + аналітика.
 - Функції:
 1. Мультиджерельна інтеграція картографії, 3D і атрибутних даних.
 2. Інструменти аналізу інфраструктурних об'єктів у режимі реального часу.
 3. Візуалізація даних із дронів, LIDAR, CAD.

5. Unreal Engine + Cesium for Unreal
 - Категорія: 3D + GIS + VR/AR.
 - Функції:
 1. Глобальні 3D-міста з реальними координатами.
 2. Підтримка BIM (IFC, glTF), Cesium OSM Buildings.
 3. Візуалізація даних IoT в ігровому рушії.
 - Призначення: навчання, симуляції катастроф, віртуальні презентації Smart City.
6. Blender + BlenderBIM + GIS Add-ons
 - Категорія: 3D-моделювання + BIM + GIS [12].
 - Функції:
 1. BlenderBIM – імпорт/експорт IFC.
 2. GIS Add-on – імпорт DEM, супутникових знімків, OSM.
 3. Експорт у web (glTF → Three.js, Unity, Unreal).
 - Призначення: створення lightweight моделей для Digital Twins.
7. SketchUp + Trimble Connect
 - Категорія: 3D CAD + BIM + геолокація.
 - Функції:
 1. Експорт IFC, DWG, KMZ.
 2. Геоприв'язка моделей, інтеграція з Trimble SiteVision (AR).
8. CityIQ / FIWARE / OpenRemote
 - Категорія: IoT + Digital Twin Middleware.
 - Функції:
 1. Збір даних від сенсорів (трафік, шум, погода), їх візуалізація на 3D/GIS дашбордах.
 2. Інтеграція з Esri, Blender, Unreal, Unity.
 - Призначення: концептуальне проєктування Smart City-рішень.

Таким чином, у сучасному програмно-технологічному контексті смарт-технології не є самостійними, а виступають базовим рівнем подання інформації. Поєднання BIM, 3D, GIS, IoT і CAD дозволяє створювати універсальні інформаційні моделі, які охоплюють як просторову, так і семантичну (будівельну) складову. Вони вирішують завдання [11; 15; 20]:

- містобудування та симуляцій розвитку районів;
 - інженерного планування інфраструктури (транспорт, енергетика, комунікації);
 - управління надзвичайними ситуаціями;
 - аналізу розвитку подій у реальному часі на основі цифрових двійників;
 - AR/VR-презентацій концепту Smart City.
- Наявність функцій зазначених смарт-технологій у сучасних програмних рішеннях представлена в табл. 4.

Таблиця 4 – Компоненти смарт-технологій у сучасних програмних рішеннях

Програмне рішення	Смарт-технології				
	BIM	GIS	3D	IoT	CAD
Autodesk InfraWorks	+	+	+	-	+
Esri ArcGIS CityEngine	-	+	+	-	-
Bentley OpenCities / iTwin	+	+	+	+	+
Hexagon M.App / GeoMedia	-	+	+	+	-
Unreal Engine + Cesium	+	+	+	+	-
Blender + BlenderBIM + GIS Add-ons	+	+	+	-	-
SketchUp + Trimble Connect	+	-	+	-	+

Примітка. Під смарт-технологіями розуміємо: BIM – підтримка інформаційного моделювання будівель (формати IFC, Revit); GIS – робота з просторовими даними (shapefiles, GeoTIFF, OSM, координатні системи); 3D – тривимірна візуалізація, побудова геометричних моделей; IoT – інтеграція даних від сенсорів у реальному часі; CAD – підтримка креслень DWG/DXF, точного геометричного моделювання (2D/3D).

Тенденції розвитку смарт-технологій

На сучасному етапі розвитку Smart City, коли кількість даних, що слід враховувати, зростає експоненційно, а вимоги до цифрових моделей стають дедалі складнішими, фіксуються шляхи оптимізації процесів створення та використання тривимірних візуалізацій [9; 20].

У класичних підходах до моделювання міських об'єктів втілено ідею максимальної деталізації (згідно з логікою інженерного проектування), де точність геометричних характеристик є критично важливою. Проте з розвитком концепцій цифрових двійників змінилися вимоги до рівня деталізації 3D-моделей [11].

На сьогодні спостерігаємо пошук балансу між точністю, швидкістю створення моделей і доцільністю їхнього використання в контексті конкретних завдань. Саме тому провідні наукові й технічні підходи (зокрема, концепції Level of Detail та Fit-for-Purpose Modeling) акцентують увагу на варіативності рівнів деталізації залежно від цілей застосування. Наприклад, у випадку стратегічного планування територій або візуалізації транспортних потоків у масштабі міста не є обов'язковим створення інженерно-точних моделей будівель або інфраструктурних об'єктів. Навпаки, надмірна деталізація лише ускладнює візуальну інтерпретацію та збільшує ресурси на оброблення даних – як обчислювальні, так і часові [10; 18; 19].

Тому актуальною є тенденція впровадження компонентів, які спрощують процес створення тривимірних зображень міських об'єктів [4]. Важливо підкреслити, що застосування спрощених 3D-моделей не є компромісом на користь меншої точності, а навпаки – свідомим проєктним рішенням,

яке базується на системному принципі простоти, що втілений у сучасну концепцію доцільної деталізації моделей (Fit-For-Purpose Modeling) [9]. Відповідно до неї, якщо основною метою є візуалізація, а не точна інженерна реконструкція, то використання спрощених моделей значно підвищує ефективність розроблення, забезпечує інтерактивність і робить моделі придатними для вебвізуалізації або використання в Digital Twins у реальному часі.

Також особливої уваги набуває проблема формування адекватного цифрового простору, який одночасно відображає географічну структуру місцевості, морфологію забудови та топографічні особливості ландшафту. Ефективне створення такого простору є можливим шляхом поєднання відкритих джерел просторових даних із сучасними засобами тривимірної візуалізації, серед яких ключове місце займають програмні рішення типу Blender (з розширеннями), що забезпечують автоматизоване оброблення геопросторової інформації. Зокрема, плагіни BlenderGIS і Blender OSM автоматизують створення 3D-моделей міст, орієнтуючись не на їхню абсолютну точність, а на функціональну доцільність і адаптивність. Використання відкритих геопросторових джерел даних, таких як OpenStreetMap, зумовлено доступністю, регулярною актуалізацією та структурованістю інформації. Зокрема, інформація про об'єкти інфраструктури (будівлі, транспортні шляхи, інженерні мережі та природні утворення) подається у вигляді векторних структур із чіткою просторовою прив'язкою. Додаткові атрибутивні властивості (висота будівель, кількість поверхів або тип конструкції) дають змогу автоматично створювати тривимірні об'єкти відповідно до реальних (або наближених до них) характеристик [18].

При цьому реалізація моделей рельєфу та поверхні землі здійснюється на основі цифрових моделей висот, таких як SRTM або ASTER, які інтегруються до середовища Blender за допомогою плагіна BlenderGIS. Вони стають фундаментом для створення географічно-коректної топографічної основи для моделювання складних ландшафтних умов територій, включно з ухилами, котловинами, вододілами та іншими елементами рельєфу, критично важливими для екологічного моделювання, водного менеджменту та просторового планування в рамках Smart City [15; 18].

Особливістю використання зазначених інструментів є те, що процес трансформації двовимірних даних у тривимірну форму відбувається у напівавтоматичному режимі. Це значно знижує вартість і тривалість моделювання порівняно з традиційними методами, такими як лазерне сканування або фотореалістична реконструкція. У цьому контексті відповідно до Fit-For-Purpose Modeling рівень опрацювання тривимірних об'єктів визначають функціональними потребами

конкретного прикладного завдання. Наприклад, для завдань візуального аналізу, попереднього планування або демонстрації сценаріїв розвитку міста достатнім є використання узагальнених 3D-форм, побудованих за допомогою OSM-даних і цифрових моделей рельєфу.

Перспективним напрямом подальшого застосування таких моделей стає інтеграція отриманого тривимірного середовища у Digital Twins, де вони виконують функцію базової візуальної оболонки для подальшого накладення динамічних інформаційних шарів. Зокрема, моделі міських районів, створені на основі OSM і DEM, поєднують з даними від IoT-пристроїв у режимі реального часу, з наступним використанням їх у AI-модулях. У результаті формується багаторівнева Smart City-система, здатна в режимі симуляції відображати сценарії зміни міського середовища, реагувати на критичні події або підтримувати прийняття управлінських рішень [18; 20].

Висновки

Створення комфортного міського середовища сприяє економічному зростанню, покращує якість життя та забезпечує сталий розвиток. Одним із шляхів досягнення цього є впровадження концепції Smart City. Однак наразі не існує єдиного визначення поняття «розумне місто» і відсутні єдині підходи до його реалізації, що зумовлено низкою об'єктивних причин.

У дослідженні систематизовано нові тенденції та тематичні кластери досліджень. Це дало змогу дослідити особливості сучасних моделей смартизації й окреслити коло завдань, що вирішують під час їхнього практичного впровадження. Зосередивши увагу на основних функціях Smart City та існуючих технологіях її реалізації, сформовано системне подання концепції із застосуванням вербального,

графічного й алгебраїчного (на основі РССМ) моделювання, що поєднує різні компоненти для реалізації основних функцій ефективного управління міським середовищем.

Розуміючи важливість цифрових технологій у міських додатках, представлено докладний аналіз нових тенденцій і наявних програмних рішень, які застосовують при реалізації Smart City. Зафіксовано зростаючу популярність відкритих геопросторових джерел, таких як OpenStreetMap (OSM), у поєднанні з програмним забезпеченням для 3D-моделювання, зокрема Blender. Це дозволяє швидко створювати візуально достовірне цифрове середовище для аналізу сценаріїв міського розвитку.

Використання відкритих геопросторових даних і відповідних інструментів для створення 3D-моделей спрощує шлях до впровадження цифрових двійників, забезпечуючи гнучку, масштабовану та адаптивну основу для розвитку сучасних міських цифрових систем. Такий підхід робить Smart City-проекти доступнішими: ключовим ресурсом стає не кількість обладнання або технічна досконалість, а здатність ефективно працювати з відкритими даними та адаптувати моделі під конкретні завдання міського управління.

Отже, з огляду на сучасні вимоги до гнучкості, масштабованості та ефективності Smart City-моделей, раціональний підхід до рівня деталізації стає однією з ключових умов успішного впровадження цифрових рішень. Орієнтація не на «ідеальну» 3D-модель, а на адаптовану до завдань платформу візуалізації та взаємодії дозволяє створювати цифрові середовища, що відповідають як реаліям міського простору, так і потребам його оперативного цифрового аналізу.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (державні реєстраційні номери проєктів 0125U000573, 0125U001680).

Список літератури

1. Okonta D. E., Vukovic V. Smart cities software applications for sustainability and resilience. *Heliyon*. 2024. Vol. 10 (2). Article e32654. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32654>.
2. Teng Q., Bai X., Apuke O. D. Modelling the factors that affect the intention to adopt emerging digital technologies for a sustainable smart world city. *Technology in Society*. 2024. Vol. 78. Article 102603. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102603>.
3. Mishra A. P., Anand S., Batar A. K. Optimizing regional development through smart cities: A case study of Lucknow city, India. *Regional Science Policy & Practice*. 2025. Article 100226. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.rspp.2025.100226>.
4. Єршова О. Л., Бажан Л. І. Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація. *Статистика України*. Київ, 2020. № 2–3. С. 68–77. DOI: URL: [https://doi.org/10.31767/su.2-3\(89-90\)2020.02-03.08](https://doi.org/10.31767/su.2-3(89-90)2020.02-03.08).
5. Дружинін М. А. та ін. Цифрові моделі організації будівництва на ґрунті інтеграційного підходу та SMART-управління. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 165–173. DOI: URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173>.
6. Паскаль Л. В. Використання цифрових технологій у розвитку міст в умовах інформаційної економіки: модель «Управління 2.0». *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*. 2024. № 1 (131). С. 143–149. DOI: URL: <https://doi.org/10.32782/1814-1161/2024-1-24>.
7. Han M. J. N., Kim M. J. A systematic review of smart city research from an urban context perspective. *Cities*. 2024. Vol. 150. Article 105027. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105027>.
8. Даншина С., Андреев С. Формування моделі розумного міста з огляду на динаміку змін міської забудови. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2025. № 2 (32). С. 16–32. DOI: URL: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.016>.

9. Kim J. S., Feng Y. Understanding complex viewpoints in smart sustainable cities: the experience of Suzhou, China. *Cities*. 2024. Vol. 147. Article 104832. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104832>.
10. Yang R., Zhen F. Smart city development models: A cross-cultural regional analysis from theory to practice. *Research in Globalization*. 2024. Vol. 8. Article 100221. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2024.100221>.
11. El-Agamy R. F. et al. Comprehensive analysis of digital twins in smart cities: a 4200-paper bibliometric study. *Artificial Intelligence Review*. 2024. Vol. 57. Article 154. DOI: URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10781-8>.
12. Umeike R., Dao T., Crawford Sh. State-of-the-art review of resilient smart cities: Progress and challenges. *Urban Governance*. 2025. Vol. 5 (2). P. 222–239. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2025.05.007>.
13. Sott M. K. Smart beginnings, wise endings: unpacking the smart-wise cities. У: *Digital Twin, Blockchain, and Sensor Networks in the Healthy and Mobile City*: collective monograph. edited by T. A. Nguyen. 2025. P. 559–574. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-34174-8.00029-6>.
14. Nukpezah J. A., Apalowo J. T., Abutabenjeh S. Why do cities go smart? Investigating the determinants of local engagement with smart cities technologies. *Cities*. 2025. Vol. 163. Article 106036. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106036>.
15. Alvi M. et al. Global perspectives on digital twin smart cities: Innovations, challenges, and pathways to a sustainable urban future. *Sustainable Cities and Society*. 2025. Vol. 126. Article 106356. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106356>.
16. Liu Y., Wen X. Sustainability assessment of cities using multicriteria decision-making combined with deep learning methods. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 115. Article 105571. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105571>.
17. Люшко В. М., Латкін М. О. Системне моделювання в управлінні проектами: монографія. Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т». 2010. 220 с.
18. Blender-Osm. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Blender-osm/> (дата звернення 10.06.2025).
19. Herath M. et al. Smart City Digital Twins: a modular and adaptive architecture for real-time data-driven urban management. *Proceeding of 20th International Conference on Network and Service Management*. Prague, October 2024. 2024. DOI: URL: <https://doi.org/10.23919/CNSM62983.2024.10814627>.
20. Бокий А. В. Особливості цифрової трансформації бізнесу. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 58. С. 129–138. DOI: URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.58.129-138>.

Стаття надійшла до редколегії 08.09.2025

Danshyna Svitlana

D.Sc. Associate Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth,
<https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv

Artem Nechausov

Ph.D. Associate Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth,
<https://orcid.org/0000-0001-7216-5566>

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv

Sergey Andrieiev

Ph.D. Associate Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth,
<https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv

COMPONENT APPROACH TO THE CONSTRUCTION OF SMART CITY INFORMATION SYSTEMS

Abstract. Rapid global urbanization and the growth of the urban population lead to the emergence of serious, systemic problems that critically and negatively affect the ecological, economic, and social sustainability of cities. In this context, the search and implementation of effective models of spatial development, which ensure the resilience of the territorial system and increase its competitiveness and adaptability in a changing external environment, is a relevant and strategic task of urban management. The aim of the work is to increase the overall efficiency of urban environment management through in-depth systematization and critical analysis of modern experience in implementing the Smart Cities concept, focused on effective intellectual decision-making. The object of the study is the concept of a "smart city" and the technologies for its implementation within a unified, integrated intellectual management of the urban environment. It is determined that the lack of a single universal definition of a "smart city" and unified approaches to its implementation necessitates the systematic comprehension of this concept and the study of evolutionary smartization models. The systemic representation of the Smart City concept is formulated for the first time using three complementary methods – verbal, graphical, and algebraic modeling. This approach focuses attention on its unique functional aspects, in particular, on data sets, the architecture of software solutions, and functional indicators. Special attention is paid to the effective use of open geospatial data (specifically, OpenStreetMap) in combination with 3D modeling tools. Such an integrated approach ensures the rapid and cost-effective creation of a reliable digital environment (digital twin), which significantly simplifies the implementation of Smart City, guaranteeing the flexibility, scalability, and adaptability of these projects. A formalized component approach to Smart City design is proposed. It regulates the design of functional modules of a smart city using components of existing software solutions, which increases the overall efficiency of their modernization and scaling, and also provides the necessary flexibility in the integration of absolutely new technologies. The obtained results can be successfully implemented in high-level automated urban management systems, where they will ensure comprehensive modeling, monitoring, and intelligent decision-making regarding the long-term development of urban infrastructure.

Keywords: smart city; regular schemes of systemic models; smart technology components; 3D modeling tools; digital twins

References

1. Okonta, D. E., & Vukovic, V. (2024). Smart cities software applications for sustainability and resilience. *Heliyon*, 10 (2), Article e32654. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32654>.
2. Teng, Q., Bai, X., & Apuke, O. D. (2024). Modelling the factors that affect the intention to adopt emerging digital technologies for a sustainable smart world city. *Technology in Society*, 78, Article 102603. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102603>.
3. Mishra, A. P., Anand, S., & Batar, A. K. (2025). Optimizing regional development through smart cities: A case study of Lucknow city, India. *Regional Science Policy & Practice*. Article 100226. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.rspp.2025.100226>.
4. Yershova, O. L., & Bazhan, L. I. (2020). Smart city – concept, models, technologies, standardization. *Statistics of Ukraine*, (2–3), 68–77. DOI: URL: [https://doi.org/10.31767/su.2-3 \(89-90\)2020.02-03.08](https://doi.org/10.31767/su.2-3 (89-90)2020.02-03.08).
5. Druzhynin, M. A., et al. (2024). Digital models of construction organization based on the integration approach and SMART-management. *Management of Development of Complex Systems*, (59), 165–173. DOI: URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.165-173>.
6. Paskal, L. V. (2024). The use of digital technologies in urban development in the information economy: The "Management 2.0" model. *State and Regions. Series: Economics and Entrepreneurship*, (131), 143–149. DOI: URL: <https://doi.org/10.32782/1814-1161/2024-1-24>.
7. Han, M. J. N., & Kim, M. J. (2024). A systematic review of smart city research from an urban context perspective. *Cities*, 150, Article 105027. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105027>.
8. Danshyna, S., & Andreyev, S. (2025). Formation of a smart city model taking into account the dynamics of urban development changes. *Current State of Scientific Research and Technology in Industry*, (32), 16–32. DOI: URL: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.016>.
9. Kim, J. S., & Feng, Y. (2024). Understanding complex viewpoints in smart sustainable cities: the experience of Suzhou, China. *Cities*, 147, Article 104832. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104832>.
10. Yang, R., & Zhen, F. (2024). Smart city development models: A cross-cultural regional analysis from theory to practice. *Research in Globalization*, 8, Article 100221. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2024.100221>.
11. El-Agamy, R. F., et al. (2024). Comprehensive analysis of digital twins in smart cities: a 4200-paper bibliometric study. *Artificial Intelligence Review*, 57, Article 154. DOI: URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10781-8>.
12. Umeike, R., Dao, T., & Crawford, S. (2025). State-of-the-art review of resilient smart cities: Progress and challenges. *Urban Governance*, 5 (2), 222–239. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2025.05.007>.
13. Sott, M. K. (2025). Smart beginnings, wise endings: unpacking the smart-wise cities. In T. A. Nguyen (Ed.), *Digital twin, blockchain, and sensor networks in the healthy and mobile city* (pp. 559–574). DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-34174-8.00029-6>.
14. Nukpezah, J. A., Apalowo, J. T., & Abutabenjeh, S. (2025). Why do cities go smart? Investigating the determinants of local engagement with smart cities technologies. *Cities*, 163, Article 106036. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106036>.
15. Alvi, M., et al. (2025). Global perspectives on digital twin smart cities: Innovations, challenges, and pathways to a sustainable urban future. *Sustainable Cities and Society*, 126, Article 106356. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106356>.
16. Liu, Y., & Wen, X. (2024). Sustainability assessment of cities using multicriteria decision-making combined with deep learning methods. *Sustainable Cities and Society*, 115, Article 105571. DOI: URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105571>.
17. Ilyushko, V. M., & Latkin, M. O. (2010). *System modeling in project management*. National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute".
18. Blender-Osm. (n.d.). URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Blender-osm/>.
19. Herath, M., et al. (2024). Smart city digital twins: A modular and adaptive architecture for real-time data-driven urban management. In *Proceeding of 20th International Conference on Network and Service Management*. DOI: URL: <https://doi.org/10.23919/CNSM62983.2024.10814627>.
20. Boki, A. V. (2024). Features of business digital transformation. *Management of Development of Complex Systems*, (58), 129–138. DOI: URL: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.58.129-138>.

Посилання на публікацію

- APA Danshyna, S., Nechausov, A., & Andrieiev, S. (2025). Component Approach to the Construction of Smart City Information Systems. *Management of Development of Complex Systems*, 63, 174–184, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2025.63.174-184](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.63.174-184).
- ДСТУ Даншина С. Ю., Нечаусов А. С., Андреев С. М. Компонентний підхід до побудови інформаційних систем Smart City. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 63. С. 174 – 184, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2025.63.174-184](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.63.174-184).