

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису УДК: 332:64

**3D-КАДАСТР В УКРАЇНІ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ
РОЗВИТКУ**

Рівень вищої освіти – другий (магістр)
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»
Освітньо-наукова програма – «Землеустрій та кадастр»

Кваліфікаційна робота магістра
студентки 2 курсу
освітнього рівня магістр
Сидоренко Софії Андріївни

Науковий керівник –
Тітова Світлана Вікторівна
кандидат географічних наук, доцент

Допущено до захисту

Протокол засідання кафедри № ____ від «__» _____ 2025 року

Завідувач кафедри проф.

Даценко Л. М.

Київ – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ 3D-КАДАСТРУ: КРАЩІ ПРАКТИКИ	8
1.1. Наукова концепція 3D-кадастру: визначення, основні підходи та класифікація	8
1.2. Аналіз нормативно-правового регулювання 3D-кадастру різних країн: кращі практики.	17
1.4 Порівняння моделей та підходів до реалізації 3D-кадастру у різних країнах	24
1.5 Використання 3D-кадастру у міському плануванні, інфраструктурі та земельному управлінні	32
1.6 Концепція «розумного міста», 4D- та 5D-кадастр як нове покоління розвитку територій	35
Висновки до розділу 1	39
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ 3D-КАДАСТРУ	40
2.1. Основи моделювання 3D-кадастру: формати даних та їхня сумісність.....	40
2.2. Використання ГІС, ВІМ та інших технологій у 3D-кадастрі	42
2.3. Методика збору та обробка даних для 3D-кадастру	45
Висновки до розділу 2	49
РОЗДІЛ 3. НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ 3D-КАДАСТРУ В УКРАЇНІ	50
3.1. Передумови та поточний стан розвитку 3D-кадастру в Україні	50
3.2. Виклики та обмеження технічної реалізації 3D-кадастру в Україні	56
3.3. Пропозиції щодо вдосконалення системи кадастрового обліку з використанням 3D- моделювання	59
3.3. Новітній підхід до інтеграції 3D-кадастру у державну кадастрову систему України	63
3.4. Оцінка можливих економічних та управлінських ефектів від впровадження 3D-кадастру	65
Висновки до розділу 3	68
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

АНОТАЦІЯ

Сидоренко С.А.

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-наукова програма «Землеустрій та кадастр», ОР Магістр

Науковий керівник: к.геогр.н., доцент Тітова С.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

географічний факультет, кафедра геодезії та картографії

Київ, 2025

3D-КАДАСТР В УКРАЇНІ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У кваліфікаційній роботі досліджено сучасні теоретичні та практичні аспекти впровадження тривимірного кадастру в Україні з урахуванням міжнародного досвіду. Розкрито понятійно-термінологічну базу 3D-кадастру, визначено ключові концепції, методи, формати просторових даних та інфраструктуру, яка забезпечує ефективне функціонування тривимірної системи обліку нерухомості. Проведено детальний порівняльний аналіз міжнародного досвіду у підходах до реалізації 3D-кадастру, що дозволило виокремити типові моделі прав власності у вертикальному вимірі, технічні рішення та особливості нормативно-правового забезпечення.

Висвітлено значення у міському плануванні, інфраструктурі та управлінні земельними ресурсами. Розглянуто методичні рекомендації (алгоритм) збору та обробки даних для 3D-кадастру.

Охарактеризовано технічні аспекти реалізації 3D-кадастру: види геопросторових даних, формати (CityGML, IFC, GML), програмне забезпечення, методи збору (лазерне сканування, фотограмметрія, UAV, GNSS), а також засоби візуалізації об'єктів. Показано можливості інтеграції з ГІС- і ВІМ-системами. Описано підходи до моделювання юридичних меж у тривимірному просторі з

прикладми геометричних типів (призми, циліндри, комбіновані об'єми). Узагальнено вимоги до точності, замкненості та неперекриваності об'ємів.

Особливу увагу приділено дослідженню українських реалій: виявлено бар'єри та недоліки чинної кадастрової системи, пов'язані з відсутністю тривимірного представлення об'єктів нерухомості, таких як багатоповерхові будівлі, підземні комунікації, просторово перекриті ділянки. На основі зібраного матеріалу та критичного аналізу розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи кадастрового обліку, зокрема запропоновано концепцію етапного впровадження 3D-кадастру в Україні із застосуванням міжнародного стандарту LADM та геопросторових технологій, таких як ГІС, BIM та лазерне сканування. Обґрунтовано доцільність інтеграції 3D-кадастру в державну кадастрову систему, визначено можливі економічні, соціальні та управлінські ефекти його впровадження.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання сформульованих підходів і рекомендацій для подальшої модернізації державного земельного кадастру України, у тому числі в рамках розробки законодавчих змін та удосконалення технічної інфраструктури.

Ключові слова: 3D-кадастр, просторові дані, геоінформаційні технології, правове регулювання, земельні ресурси, інфраструктура, міжнародний досвід.

ВСТУП

Сучасний розвиток технологій та урбанізаційні тенденції вимагають нових підходів до управління просторовими ресурсами. Традиційні методи ведення кадастру та двовимірні моделі, втрачають свою актуальність для вирішення складних завдань, пов'язаних із багаторівневою забудовою, підземними комунікаціями та іншими елементами просторової інфраструктури. У відповідь на ці виклики виникає необхідність впровадження 3D-кадастру – підходу, який дозволяє враховувати всі просторові аспекти нерухомості.

В Україні цей напрямок лише перебуває на етапі формування і супроводжується низкою проблем та викликів, які потребують комплексного аналізу та вирішення. Впровадження ж в свою чергу відкриває широкі можливості для досліджень та розвитку.

Актуальність теми. Традиційний 2D-кадастр не здатний відобразити всі просторові характеристики складних і багаторівневих об'єктів забудови (наприклад, багатоповерхівки, підземні паркінги і т.д.), тому виникає необхідність у 3D-кадастрі, який забезпечує точніший облік усіх рівнів нерухомості, включаючи підземні комунікації та інфраструктуру. Впровадження 3D-кадастру є особливо важливим у контексті євроінтеграції України. Багато європейських країн вже використовують або впроваджують 3D-кадастр і Україна має адаптувати свою кадастрову систему до цих стандартів для полегшення транскордонного співробітництва та інтеграції у загальноєвропейський ринок.

Застосування 3D-кадастру підвищує ефективність вирішення юридичних питань, пов'язаних із правами власності на нерухомість, дозволяючи чітко визначити межі та обсяг прав власності. Це зменшує ризик координатних помилок та накладок у кадастрових даних, підвищує їхню надійність.

В Україні немає жодного нормативного акту, який би міг дати старт процесу впровадження 3D-кадастру. Саме це є наріжним каменем для багатьох сфер, в яких він необхідний.

Мета роботи. Комплексне дослідження концепції 3D-кадастру, аналіз міжнародного досвіду його впровадження, визначення технічних аспектів реалізації та розробка науково обґрунтовані пропозиції щодо впровадження 3D-кадастру в Україні.

Завдяки коректному визначенню мети нами було сформовано наступні **завдання**:

- 1) проаналізувати теоретичні основи формування та впровадження 3D-кадастру, зокрема його нормативно-правового регулювання, моделей реалізації та сфер застосування; дослідити найкращі практики міжнародного впровадження та розвитку;
- 2) дослідити технічні аспекти впровадження 3D-кадастру, включаючи формати даних, методи збору та обробки інформації, а також інтеграцію з ГІС-технологіями;
- 3) оцінити поточний стан розвитку 3D-кадастру в Україні та запропонувати науково обґрунтовані методи його впровадження, враховуючи сучасні технології та потенційні економічні ефекти.

Об'єкт дослідження. 3D-кадастр як система управління просторовими даними, яка забезпечує точність і ефективність кадастрового обліку та майнових прав.

Предмет дослідження. Предметом дослідження даної роботи стали наступні методи: *метод системного аналізу*, за допомогою якого відбувся аналіз історичного аспекту розвитку 3D-кадастру в країнах Америки, Європи та Азії, аналіз системних вимог, технологічних рішень і організаційних структур, що необхідні для впровадження 3D-кадастру, щоб визначити ключові компоненти та їхню взаємодію; *порівняльно-правовий метод*, який був використаний для аналізу законодавчої бази досліджуваних країн з вже впровадженим 3D-кадастром; *метод графічного аналізу* для наочного подання підходів та концепцій 3D-кадастру, класифікації 3D-кадастру; *метод оцінки та прогнозування* для створення пропозицій щодо вдосконалення системи кадастрового обліку з використанням 3D-моделювання.

Структура роботи: кваліфікаційна робота магістра містить 3 розділи, 13 підрозділів; 57 позицій списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 77 сторінок.

Ключові слова: *«тривимірне моделювання», «3D-кадастр», «кадастрова система», «просторові дані», «геоінформаційні технології», «правове регулювання», «земельні ресурси», «інфраструктура», «міжнародний досвід».*

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ 3D-КАДАСТРУ: КРАЩІ ПРАКТИКИ

1.1. Наукова концепція 3D-кадастру: визначення, основні підходи та класифікація

Швидка урбанізація та вертикальне використання землі (наприклад, висотні будівлі, підземна інфраструктура) поставили перед традиційними двовимірними кадастрами нові виклики. Ці труднощі призвели до виникнення концепції тривимірного (3D) кадастру – кадастрової системи, здатної реєструвати права власності у просторі об'ємів, а не лише на площах земельних ділянок. Ця концепція з'явилася в кінці 20 століття як відповідь на потребу чіткого визначення прав власності в складних, багаторівневих середовищах.

Термін «3D кадастр» почав з'являтися в професійному дискурсі наприкінці 1990-х років. Одним з ключових моментів стала публікація «Cadastre 2014» (Kaufmann & Steudler, 1998), що уявляла майбутню кадастрову систему, яка б включала «всі юридичні ситуації на землі», включаючи перекриті права у просторі. Фактично, початок терміну «3D кадастр» можна віднести до Cadastre 2014, яка визначала потребу у вертикальному управлінні правами на землю. Спираючись на це бачення, Міжнародна федерація геодезистів (FIG) організувала першу міжнародну нараду з 3D кадастру в Делфті в 2001 році, що стало моментом формалізації цієї концепції на глобальному рівні. Ця нарада, організована TU Delft в рамках FIG Комісій 3 та 7, часто згадується як перший крок у формалізації теми «3D кадастру» у світовій науковій спільноті [1].

Згодом у науковій та правовій літературі починають з'являтися інші пов'язані терміни: «3D-нерухомість», «об'ємна ділянка» (volume parcel), «об'єм права» (legal volume), «просторовий об'єкт», які використовуються для опису власності у формі обмеженого тривимірного простору для підкреслення того, що одиниці нерухомості можуть займати тривимірні простори (наприклад, квартири в багатоповерхових будинках або підземні об'єкти) замість класичних земельних

ділянок. Вперше термін «об'ємна ділянка» було запропоновано Jantien Stoter (Нідерланди) у її дисертації 2004 року, де обґрунтовано, що об'єкт нерухомості у 3D має бути обмежений у всіх трьох вимірах. [2]

Особливе значення має також термін «3D одиниця власності» (3D property unit) — обмежений об'єм простору, на який зареєстровано право власності. Уперше на законодавчому рівні цей термін був узаконений у Швеції у 2004 році, коли в цивільне законодавство було впроваджено поняття тривимірного об'єкта нерухомості [3].

Ранні дослідження та ініціативи (1990–2005). У 1990-х роках перші публікації щодо необхідності реєстрації об'єктів у 3D стосувалися юридичних проблем багаторівневого володіння (наприклад, у хмарочосах, тунелях, метро). Однак системна робота розпочалася з 2000-х років із формування Робочої групи FIG з 3D-кадастру та організації регулярних тематичних конференцій [4].

Водночас Технологічний університет Делфта (TU Delft) став світовим науковим лідером у розробці концепції 3D-кадастру. Саме там під керівництвом Пітера ван Оостерома та Джантієн Стотер було розроблено перші теоретичні моделі, прототипи баз даних, запропоновано підхід до переходу від 2D до 3D. У цей період сформувалася ключова ідея: об'єкти 3D-нерухомості — це юридично визначені об'єми простору, які можуть співіснувати над і під землею незалежно один від одного [5].

Паралельно значний внесок зробив Університет Мельбурна, де досліджували досвід багаторівневого права власності (strata titles) у контексті цифровізації. Дисертаційна робота Алі Айєна (Aien, 2013) стала основоположною для моделювання даних 3D-кадастру в австралійському контексті [6].

Загалом, основний внесок у термінологію та структуру 3D-кадастру зробили Jantien Stoter (авторка термінів «об'ємна ділянка», «гібридний 3D-кадастр»), Peter van Oosterom (ініціатор 3D-кадастрової групи FIG, автор концепції «4D-кадастру» (включення часу), активний учасник розробки LADM) [5], Ali

Aien (автор моделі даних для реєстрації та візуалізації 3D-об'єктів, з акцентом на імплементацію об'ємних прав) [6].

3D-кадастр розширює класичний кадастр, вводячи *третій вимір* – висоту та глибину. Це дозволяє створювати тривимірні моделі землі, які охоплюють не тільки площу ділянки, але й об'єм, що є необхідним для точного планування в умовах багатофункціонального використання території. Врахування вертикальних даних є ключовим для управління складними об'єктами, такими як багатоповерхові будівлі, ЛЕП або підземні комунікації. Згідно з дослідженнями [7], 3D-кадастр дозволяє об'єднувати дані про фізичні та юридичні характеристики земельних ділянок, а також їх взаємозв'язки з іншими об'єктами на тривимірних картах.

3D-кадастр є передовою концепцією для управління земельними ресурсами, що дозволяє враховувати не лише традиційні земельні ділянки різної конфігурації, але й тривимірні об'єкти, такі як будівлі, підземні споруди, комунікації, повітряні коридори та інші елементи, які можуть перебувати як над землею, так і під нею. Це важлива інновація, що може забезпечити більш точну інформацію про території, необхідну для ефективного управління, планування та розвитку.

Хоча зазвичай кадастр включає в себе реєстрацію земельних ділянок, їх меж та власників за допомогою двовимірних координат – для сучасних потреб таких даних вже недостатньо, оскільки з'являється необхідність враховувати об'єкти, які знаходяться в різних рівнях простору.

З метою забезпечення єдності та стандартизації 3D-даних, було розроблено ряд міжнародних стандартів. Одним із таких є ISO 19152:2012, який визначає модель управління земельними ресурсами Land Administration Domain Model (далі - LADM). [8] LADM охоплює такі ключові аспекти земельного управління, як опис земельних ділянок, управління правами на землю, зобов'язаннями, а також інформацією про обмеження, накладені на землю. Це дозволяє створити єдину базу даних, яка містить всю необхідну інформацію про землеволодіння,

права користування, сервітутні права, а також інші елементи, що стосуються земельних ділянок та синхронізуватися з іншими стандартами, такими як ISO 19115 (стандарт метаданих) або ISO 19157 (стандарт якості географічних даних), що в свою чергу дозволяє забезпечити якість і доступність даних. ISO 19152:2012 є основою для впровадження 3D-кадастру і забезпечує високу точність і надійність кадастрових даних, адже підтримує міжнародну сумісність і дозволяє створювати гнучкі системи, які можуть адаптуватися до різних умов і потреб. [8]

Не менш важливим відкритий стандарт, CityGML, який використовується для створення 3D-моделей міських територій. Цей формат базується на XML і використовує концепцію моделювання міських об'єктів у тривимірному просторі. Основною перевагою CityGML є його ієрархічна структура, яка дозволяє організувати дані в вигляді об'єктів різного рівня деталізації. Наприклад, можна створити модель цілого міста з окремими компонентами, такими як вулиці, будівлі, парки, та деталізувати кожен елемент – від вигляду фасаду будівлі до характеристик транспортних шляхів. [9]

У 3D-кадастрі юридичні межі — це абстрактні вертикальні, горизонтальні або криволінійні поверхні, які окреслюють простір, у межах якого власник має права. Вони можуть збігатися з фізичними елементами (стіни, підлоги, стелі), але не обов'язково. Наприклад, у квартирі на 10-му поверсі будівлі юридичний об'єм може починатися і закінчуватися в середині товщини стін або за визначеною висотною координатою — незалежно від фактичного розташування будівельних елементів.

Аналогічно, правовий об'єм для підземного тунелю може бути визначений у вигляді циліндра чи призми, що не обов'язково точно відповідає геометрії самого тунелю. Інженери можуть викопати більше землі для будівництва, але юридична межа права може бути жорстко обмежена навколо функціонального об'єкта.

Таким чином:

- Фізичні 3D-об'єкти – це матеріальні речі: будівлі, труби, дороги, тощо. Вони існують незалежно від юридичних меж.
- Юридичні 3D-простори – це нематеріальні об'єкти, визначені документами, правами, правилами. Вони можуть, але не зобов'язані збігатися з фізичними структурами.

Ця відмінність зумовила потребу в нових термінах, таких як юридичний об'єм (legal volume), об'ємне право, просторова правова одиниця тощо. У 3D-кадастрі кожен юридичний об'єм повинен бути: замкненим (watertight), неперекриваним з іншими, крім випадків, коли це дозволено (наприклад, сервітути), описаним за координатами (часто незалежно від фізичних конструкцій).

Це дозволяє уникати непорозумінь у визначенні прав — наприклад, у випадках повітряних прав (air space parcels), де дозволяється володіти об'ємом простору над землею для спорудження мосту чи виступаючої частини будівлі. Такий об'єм може бути обмежений поверхнями на певних висотах, які фізично не мають маркерів, але мають юридичну силу. [56]

Загалом, завдяки 3D-кадастру можна більш точно визначати межі земельних ділянок, оцінювати їхню цінність та планувати раціональне використання. Це також може бути корисним для моніторингу екологічних змін та аналізу впливу будівництва на природні ресурси.

Розвиток і впровадження 3D-кадастру дає можливість не лише точно управляти земельними ресурсами, але й створювати нові можливості для просторового аналізу та планування. Це важливий крок до сталого розвитку територій, оскільки дозволяє враховувати як горизонтальні, так і вертикальні аспекти землекористування. Завдяки цьому можна оптимізувати використання ресурсів, покращити управління інфраструктурою та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Однією з важливих робіт у визначенні конкретної концепції та класифікації 3D-кадастру є робота Ghanem, M., El-Gohary, M., El-Diraby, T.E. (2021) «3D-кадастр: огляд концепцій, підходів та викликів». У статті автори визначають 3D-кадастр як систему, що дозволяє здійснювати точний облік земельних ділянок і об'єктів у трьох вимірах (земля, підземні об'єкти, повітряний простір). Вони зазначають, що традиційні 2D-кадастри не в змозі відобразити всі аспекти реального простору, де об'єкти можуть бути не лише на поверхні землі, а й під землею або в повітряному просторі. 3D-кадастр дозволяє зберігати інформацію про правові, фізичні та інші характеристики об'єктів у трьох вимірах. [7]

Підходи до створення та впровадження 3D-кадастру. Геопросторовий підхід, що базується на використанні просторових даних для побудови тривимірних моделей територій, що дозволяє здійснювати точну реєстрацію та моніторинг географічних об'єктів. Цей підхід забезпечує інтеграцію даних з різних джерел (наприклад, супутникових знімків, Лідарних даних, геодезичних вимірювань) та їх аналіз у тривимірному просторі. В цьому підході одним з важливих плюсів є подальша можливість проведення аналітичних досліджень, таких як:

1. взаємодія об'єктів (наприклад аналіз впливу на інфраструктуру, екологію, рівень шуму та інше),
2. міське планування (наприклад оптимальні шляхи транспорту, будівництво нових об'єктів або реконструкцію існуючих),
3. управління земельними ресурсами (реєстрація земельних ділянок, виявлення правових обмежень та інше) [10];

Переваги та недоліки геопросторового підходу до створення та впровадження 3D-кадастру, які ми виділили, зображено на рис.1.2.1

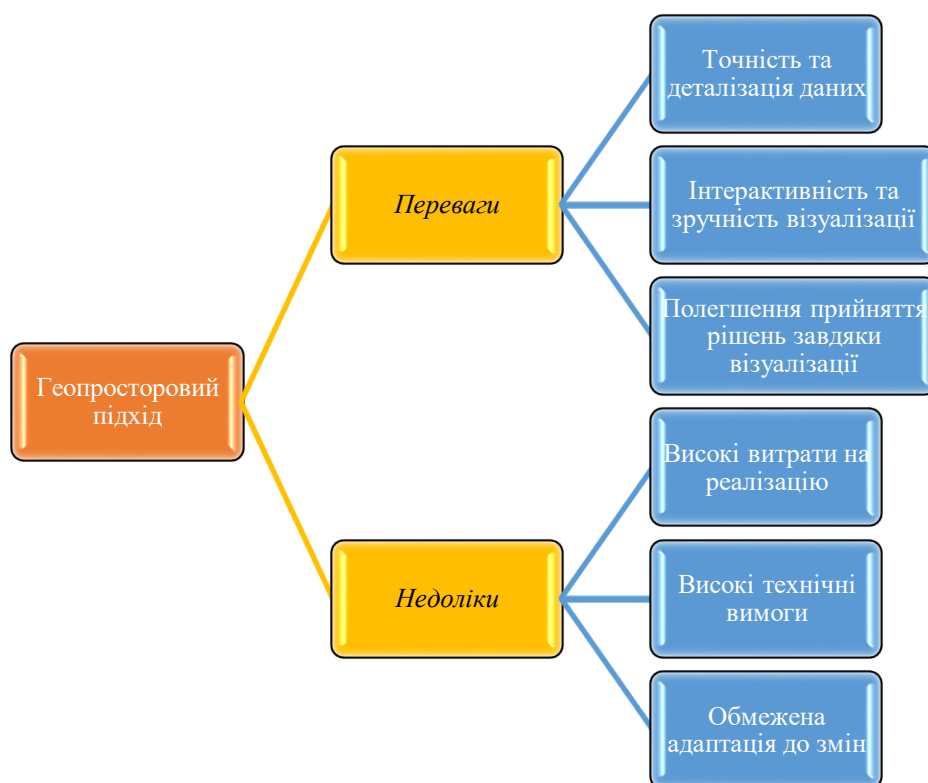


Рис. 1.2.1. Переваги та недоліки геопросторового підходу до створення та впровадження 3D-кадастру (авторська розробка)

Інформаційно-правовий підхід – об'єднує принципи земельного обліку з новими технологіями, що дозволяють обліковувати об'єкти не тільки на поверхні, але й під землею та в повітряному просторі. Основною метою цього підходу є створення правової і інформаційної основи для управління земельними та просторовими ресурсами в 3D-просторі, де простір поділений на різні рівні (поверхня, підземний і повітряний простір). Принципами такого підходу є:

1. Інтероперабельність – важливість використання спільних стандартів та форматів даних для забезпечення безперешкодної інтеграції різних кадастрових систем і баз даних;
2. Прозорість і доступність інформації;
3. Правова ясність, під якому мається на увазі чітке визначення права на різні частини простору для уникнення правових суперечок і забезпечення стабільності прав власності;

4. Мобільність та масштабованість інформаційних систем, які мають бути гнучкими та здатними адаптуватися до змін потреб, технологій і нормативно-правових вимог. [11]

Переваги та недоліки інформаційно-правового підходу до створення та впровадження 3D-кадастру, які ми виділили, зображено на рис.1.2.2

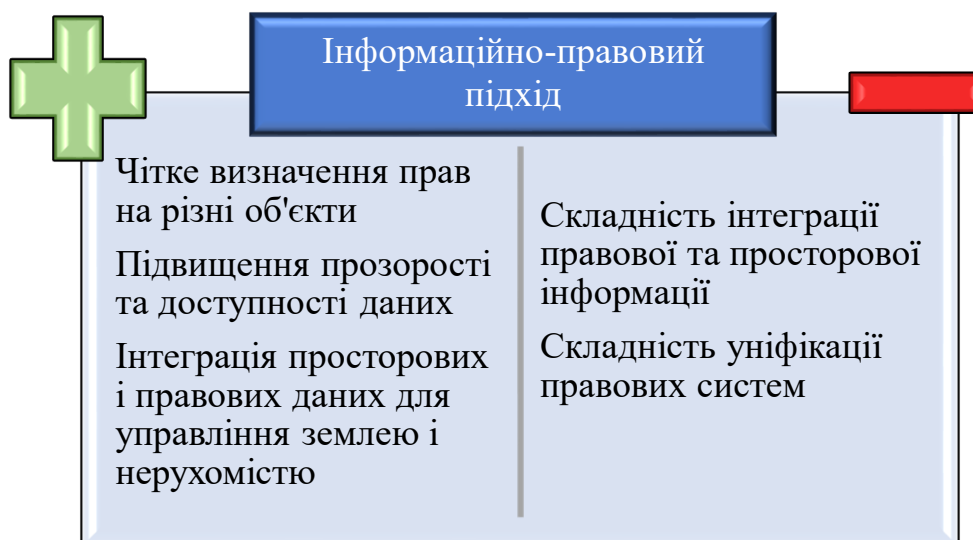


Рис. 1.2.2. Переваги та недоліки інформаційно-правового підходу до створення та впровадження 3D-кадастру (авторська розробка)

Технологічний підхід – ґрунтується на інтеграції таких технологій, як геоінформаційні системи (далі - ГІС), лазерне сканування, фотограмметрія, 3D-моделювання та інтерактивні платформи для візуалізації даних.

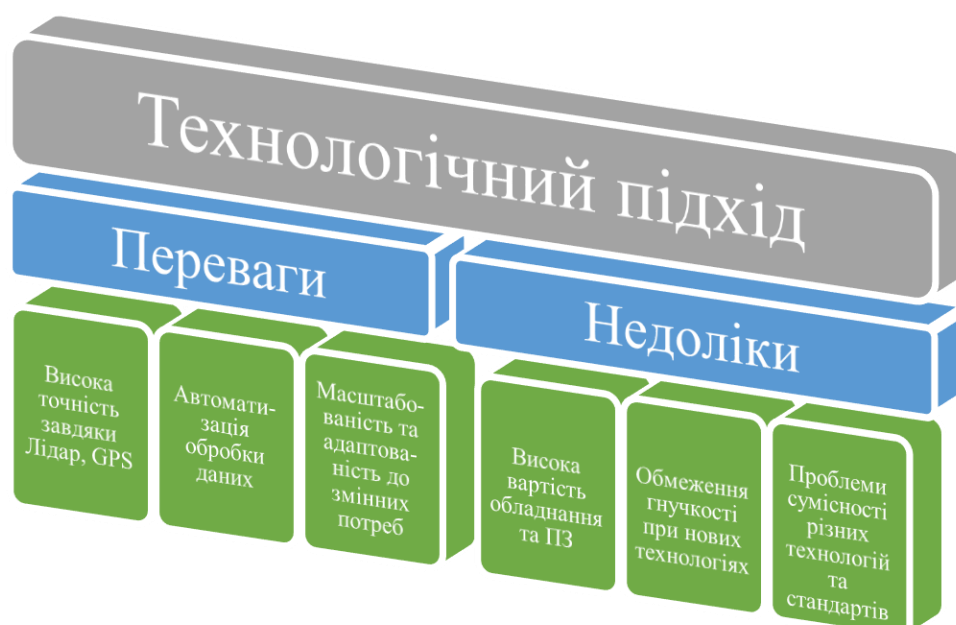


Рис. 1.2.3. Переваги та недоліки технологічного підходу до створення та впровадження 3D-кадастру (авторська розробка)

Класифікація 3D-кадастру. Оскільки 3D-кадастр є складною і багатогранною системою, то вона (система) може бути класифікована за кількома критеріями в залежності від мети використання, типів об'єктів та рівня деталізації даних. Кожен з цих критеріїв має значний вплив на функціональність та ефективність системи, а також на її здатність обробляти, зберігати і передавати просторові дані в трьох вимірах. Класифікація 3D-кадастру наведена нижче на рисунку 1.2.4.

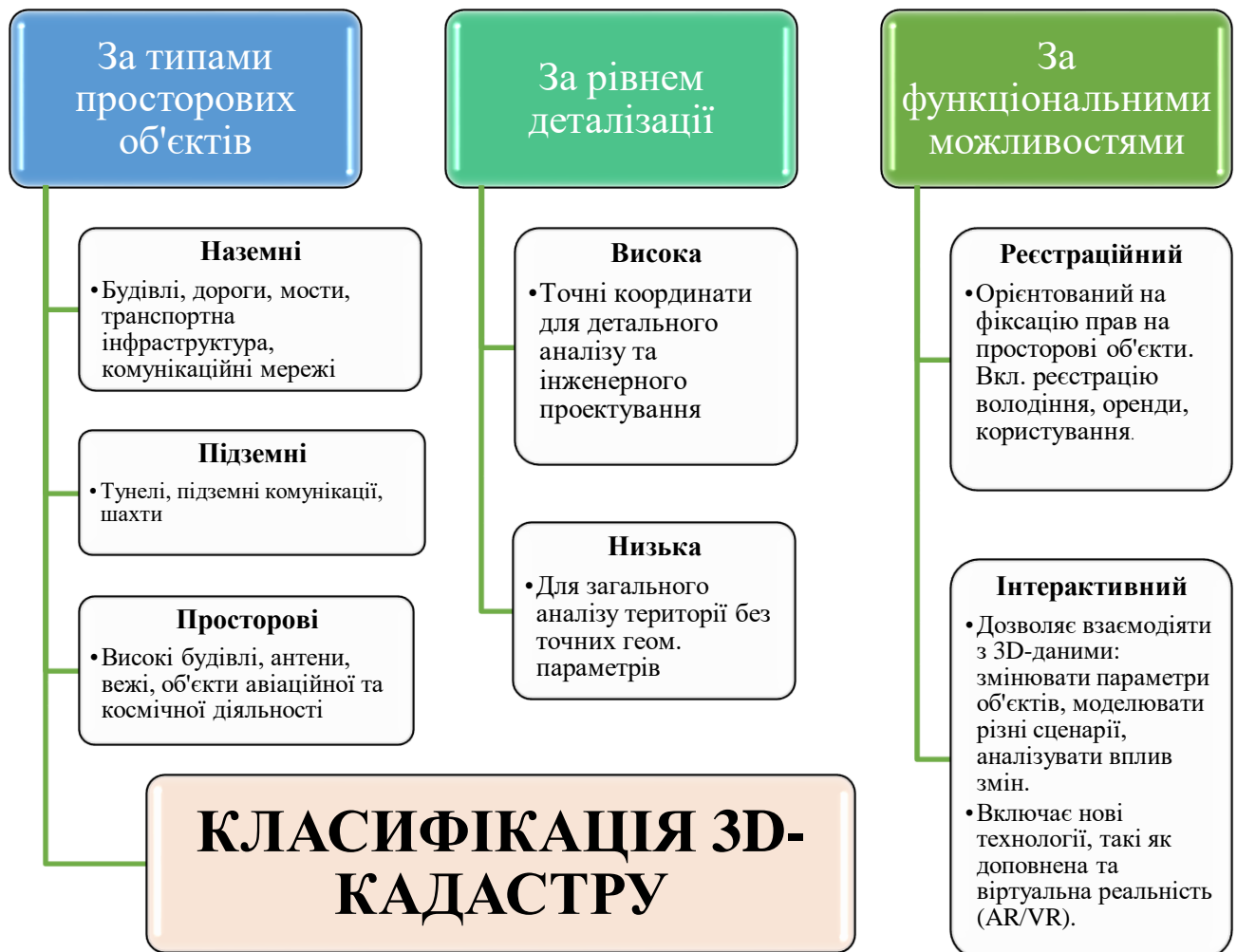


Рис. 1.2.4 Класифікація 3D-кадастру [11] (авторська розробка)

Найефективнішим є комбінований підхід, який враховує різні аспекти, зокрема наземні, підземні та повітряні об'єкти, а також можливість взаємодії з

даними через інтерактивні моделі. Це дозволяє створити масштабовані та адаптивні системи, які підходять для різних задач, від юридичних до інженерних.

Водночас, найменш ефективним на мою думку є застосування однокомпонентних підходів, зображених в таблиці 1.2.2.1, адже вони обмежують функціональність і не враховують усі аспекти, необхідні для комплексного управління простором. Тому інтеграція різних підходів і рівнів деталізації є ключем до створення високоефективного 3D-кадастру, який може підтримувати сталий розвиток територій та забезпечувати точне прогнозування і планування.

1.2. Аналіз нормативно-правового регулювання 3D-кадастру різних країн: кращі практики.

Правове регулювання 3D-кадастру має велике значення для ефективного застосування цієї технології в реальному світі. Оскільки система 3D-кадастру вимагає врахування множинних факторів, таких як земельні права, будівельні норми, екологічні та інші просторові дані, її правове забезпечення має бути чітким і всеохоплюючим.

Задача правового регулювання в контексті 3D-кадастру полягає не лише в створенні чітких норм і стандартів, але й в інтеграції цих стандартів у вже існуючі кадастрові системи, забезпечуючи таким чином взаємодію з іншими державними реєстрами та системами управління просторовими даними.

Сполучені Штати Америки (США). Правове регулювання 3D-кадастру є комплексним і багаторівневим, оскільки земельний кадастр, геопросторові дані та інфраструктура даних регулюються як на федеральному, так і на державному рівнях. На рівні федерації немає єдиного закону, що охоплює всі аспекти 3D-кадастру, однак окремі нормативно-правові акти та ініціативи активно підтримують розвиток технологій тривимірних кадастрових даних.

Geospatial Data Act of 2018 (GDA) — це один з найбільш важливих законодавчих актів, прийнятих у США для поліпшення управління

геопросторовими даними, включаючи дані, що стосуються 3D-кадастру. Закон був розроблений з метою забезпечити більш ефективне використання геопросторових даних та створити інфраструктуру для їх взаємодії та доступу. Детальний огляд основних пунктів Закону, що стосуються 3D-кадастру наведено нижче в таблиці 1.3.1. [11]

Таблиця 1.2.1.

Огляд основних пунктів Geospatial Data Act, що стосуються 3D-кадастру		
Пункт закону	Детально	Результат
Створення національної інфраструктури для геопросторових даних (NSDI)	Підтримка розвитку національної геопросторової інфраструктури (NSDI), яка включає в себе як 2D, так і 3D-геопросторові дані	Інтеграція 3D-даних у загальну геопросторову систему країни
Управління і доступ до геопросторових даних	Сприяння поліпшенню доступу до 3D-геопросторових даних як для державних установ, так і для приватного сектору	Ефективне використання 3D-кадастрових даних для містобудування, інфраструктури та інших потреб.
Розробка стандартів для 3D-кадастру	Створення стандартів для збору, обробки та зберігання 3D-даних	
Роль урядових агентств	Визначення ролі Федерального географічного комітету (FGDC) у розробці і впровадженні стандартів для 3D-кадастру. Це включає інтеграцію новітніх технологій для збору 3D-даних, таких як LiDAR.	Відповідає за розробку та впровадження стандартів для збору, обробки та інтеграції 3D-кадастрових даних у національну геопросторову інфраструктуру США
Інтеграція 3D-даних у місцеві системи	Інтеграція 3D-кадастрових даних у місцеві системи управління землею та інфраструктурою	Використання будівельними компаніями, урядам і іншими зацікавленими сторонами ці дані для проектування і моніторингу

Продовження таблиці 1.2.1.

Огляд основних пунктів Geospatial Data Act, що стосуються 3D-кадастру		
Пункт закону	Детально	Результат
Підтримка нових технологій	Сприяння розвитку технологій, таких як LiDAR, для створення точних 3D-моделей місцевості та інфраструктури, які можуть бути використані в 3D-кадастрі для управління земельними ресурсами та екологічними моніторингами.	
Регулярне оновлення стандартів та практик	Регулярне оновлення стандартів для 3D-кадастру	Відповідність новітнім технологіям, таким як створення цифрових близьких моделей (digital twins) для моніторингу територій

Оскільки в США кожен штат має власні кадастрові системи, підходи до впровадження 3D-кадастру суттєво відрізняються в залежності від конкретного штату. Проте, багато штатів активно інвестують у розвиток тривимірних даних для кадастру. Наприклад у штаті Колорадо було розроблено проект з інтеграції 3D-даних у систему реєстрації земельних прав, що дозволяє візуалізувати та управляти підземними комунікаціями та іншими об'єктами, а штат Каліфорнія активно впроваджує 3D-кадастр для управління природними ресурсами та урбаністичним розвитком, включаючи проекти для підземних і надземних інфраструктурних об'єктів.

Канада. Нормативно-правове регулювання 3D-кадастру є частиною більш широкої політики щодо геопросторових даних, хоча наразі країна не має єдиного, централізованого стандарту для 3D-кадастру. Основними законодавчими актами, які стосуються 3D-кадастру, є Geospatial Information Act та Canada's Spatial Data Infrastructure (CSDI), які підтримують інтеграцію 3D-даних в кадастрові системи та інфраструктури, сприяючи їх використанню в управлінні земельними ресурсами, містобудуванні та екологічному моніторингу. [13]

Детальний опис законодавчих актів, що стосуються 3D-кадастру в Канаді, зображено в таблиці 1.3.2 [14], [15], [16]

Таблиця 1.2.2.

Огляд основних пунктів Geospatial Information Act та Canada's Spatial Data Infrastructure (CSDI), що стосуються 3D-кадастру			
Назва закону	Стаття/пункт закону	Детально	Результати впровадження
Geospatial Information Act, S.C. 2000. Section 4		Цей розділ визначає, як уряд Канади збирає та використовує геопросторові дані, включаючи 3D-дані для кадастру. Це допомагає інтегрувати дані в систему для точного відображення об'єктів.	Підвищена точність кадастрових записів, включаючи 3D-моделі для відображення будівель, земельних ділянок і підземних комунікацій. Покращення доступу до даних для державних органів.
Canada's Spatial Data Infrastructure (CSDI). Part II: Establishment of the Infrastructure		Встановлює основу для створення інфраструктури геопросторових даних, що включає підтримку 3D-кадастрових даних для різних організацій. Це дозволяє централізовано збирати і зберігати дані.	Спрощення доступу до 3D-даних для органів влади та бізнесу, полегшує інтеграцію геопросторових даних у національні кадастрові системи та міські інфраструктури.
Geospatial Information Act. Section 6: Data Management and Distribution		Закон встановлює правила для керування та розповсюдження геопросторових даних, включаючи 3D-кадастрові дані. Це дозволяє визначити, хто має доступ до таких даних і як їх можна використовувати.	Покращення доступу до 3D-кадастрових даних, що дозволяє бізнесу, урядам та розробникам ефективно використовувати ці дані в проектуванні і містобудуванні.
Canada's Spatial Data Infrastructure. Part IV: Federal Role in the System		Описує роль федерального уряду в створенні та управлінні геопросторовими даними, включаючи 3D-кадастр. Встановлюється, що уряд має координувати розвиток національних стандартів.	Спрощення інтеграції різних типів геопросторових даних (в тому числі 3D) у федеральну систему для забезпечення їх взаємодії з місцевими і провінційними базами даних.
Canadian Geospatial Data Policy (CSDI)		Політика щодо використання та інтеграції геопросторових даних, що охоплює в тому числі і 3D-кадастр. Ця політика сприяє стандартизації даних і їх використанню для інфраструктури та кадастру.	Полегшення використання 3D-кадастрових даних у різних секторах: від планування та будівництва до екологічного моніторингу та управління земельними ресурсами.

Продовження таблиці 1.3.2.

Огляд основних пунктів Geospatial Information Act та Canada's Spatial Data Infrastructure (CSDI), що стосуються 3D-кадастру			
Назва закону	Стаття/пункт закону	Детально	Результати впровадження
Geospatial Data Management Act. Section 7: Data Standardization		Визначає вимоги до стандартів для геопросторових даних, в тому числі для 3D-кадастру. Закон гарантує, що дані, які використовуються для кадастру, відповідають національним стандартам точності.	Підвищення точності 3D-даних для кадастрів, що дозволяє створювати надійні та ефективні моделі для управління міськими, земельними та будівельними проектами.

Хорватія. Розвиток 3D-кадастру є важливою частиною національної геопросторової інфраструктури, але в основному використовується 2,5D-кадастр, а не повноцінний 3D-кадастр. Тобто кадастрові системи країни використовують висоту або глибину (наприклад, для реєстрації висот будівель або підземних об'єктів), але не створюють повні тривимірні моделі з усіма об'єктами в просторі. [17]

Тим не менше, розвиток технологій у сфері геопросторової інформації в країні сприяє поступовому впровадженню більш складних 3D-рішень у різні сфери, такі як містобудування, управління земельними ресурсами та інші.

Основним актом є Закон о геoinформацијама (Закон про геопросторову інформацію), який забезпечує основу для управління геопросторовими даними в країні.

Додатково важливим є Закон о zemljišnim knjigama (Закон про земельний кадастр), який регулює процеси, пов'язані з кадастровими записами і землеустроєм, включаючи інтеграцію 3D-даних.

Огляд основних пунктів вищезгаданих законів, що стосуються 3D-кадастру зображено в таблиці 1.3.3..

Таблиця 1.2.3.

Огляд основних пунктів <i>Zakon o geoinformacijama</i> (Закон про геопросторову інформацію – хорв.) та <i>Zakon o zemljišnim knjigama</i> (Закон про земельний кадастр – хорв.), що стосуються 3D-кадастру			
Назва закону	Пункт/стаття закону	Детально	Результати впровадження
<i>Zakon o geoinformacijama</i> , čl. 6 [18]		Встановлює основи для створення та управління національною геопростор. інфраструктурою, стандарти для геопросторових даних.	Покращення точності кадастрових даних, створення інтегрованих 3D-кадастрових баз, що дозволяє здійснювати комплексне управління земельними ресурсами та плануванням територій.
<i>Zakon o zemljišnim knjigama</i> , čl. 12 [19]		Визначає процеси збирання та зберігання кадастрових даних, зокрема 3D-даних, для реєстрації та управління земельними ділянками і власністю.	Створення 3D-моделей земельних ділянок для кращого управління земельними ресурсами, включаючи підземні та поверхневі об'єкти, та покращення ефективності кадастрових операцій.
<i>Zakon o geoinformacijama</i> , čl. 8		Регулює доступ до геопросторових даних, включаючи 3D-кадастрові дані, та визначає права користувачів і відповідальність за обробку даних.	Покращення доступу до 3D-кадастрових даних для органів місцевої влади та бізнесу, що сприяє розвитку нових технологій в сфері містобудування і планування.
<i>Zakon o zemljišnim knjigama</i> , čl. 15		Описує створення і використання цифрових 3D-даних для відображення будівель, підземних інфраструктур та інших об'єктів на кадастрових картах.	Підвищення точності кадастрових карт, інтеграція 3D-даних в систему, що дозволяє здійснювати моніторинг та управління територіями більш ефективно

Норвегія. Одна з передових країн у сфері геопросторових технологій і законодавство відображає високий рівень інтеграції 3D-кадастрових даних у систему земельного обліку та управління територіями.

Основними нормативно-правовими актами, що регулюють використання геопросторових даних, є *Geografisk Informasjonslov* (Закон про географічну інформацію) [20] та *Jordskiftesloven* (Закон про земельний кадастр) [21].

Geografisk Informasjonslov (Закон про географічну інформацію), ухвалений у 2010 році, є основним актом, який визначає правила створення, зберігання,

доступу та використання геопросторових даних у Норвегії. В межах цього закону також йдеться про створення та підтримку 3D-кадастрових даних для планування територій, містобудування та управління природними ресурсами.

У 2017 році, з прийняттям нових норм, Норвегія почала активно працювати над інтеграцією 3D-даних у земельні реєстри, що дозволило значно підвищити точність кадастрових карт та відображення вертикальних характеристик об'єктів на карті. Закон зобов'язує в рамках загальних положень органи місцевого управління використовувати 3D-дані при проведенні оцінки земель та майна, що є важливим для розвитку інфраструктури. Основними пунктами закону є створення національної геопросторової інфраструктури для забезпечення доступу до даних на всіх рівнях та визначення стандартів для збору та обробки 3D-кадастрових даних та заохочення інтеграції 3D-кадастру у систему державного обліку землі та природних ресурсів.

Jordskiftesloven – Закон про земельний кадастр Норвегії, визначає юридичні норми і процеси, які регулюють облік земельних ресурсів, розподіл землі та використання кадастрових даних. Цей закон є важливим для управління земельними ресурсами, особливо в контексті урбаністичних перетворень та інфраструктурного розвитку, де точні 3D-дані мають критичне значення. Завдяки цьому закону Норвегія змогла значно підвищити точність кадастрових записів і запровадити ефективне управління земельними ресурсами, що сприяє розвитку інфраструктури та економічному зростанню в країні.

Угорщина. Поступово переходить до використання 3D-кадастру, що дозволяє точніше фіксувати об'єкти нерухомості та земельні ділянки. Основою для цього процесу є кілька ключових законів, зокрема: Térképészeti törvény (Закон про геодезію та картографію) від 1996 року: визначає правові основи для збору та управління геопросторовими даними, включаючи 3D-моделювання. Він регламентує стандарти цифрової картографії та забезпечує єдину систему обміну даними між установами; [22] Ingatlan-nyilvántartási törvény (Закон про земельний кадастр) від 1997 року: встановлює порядок реєстрації нерухомості, зокрема підземних споруд, багаторівневих об'єктів та будівель, що мають складну

структуру. З 2021 року було впроваджено електронний кадастр, який поступово інтегрує 3D-дані; [23] Területrendezési törvény (Закон про просторове планування) від 2003 року: орієнтований на використання 3D-моделей у містобудуванні, зонуванні територій та управлінні забудовою. Він передбачає інтеграцію цифрових технологій у процес планування міст та контроль за змінами у землекористуванні. [24]

Вони регламентують збір, обробку та використання геопросторових даних, визначають порядок реєстрації багаторівневих об'єктів та інтеграцію 3D-моделювання у містобудування. 3D-об'єкти реєструються у земельному кадастрі як окремі просторові одиниці, що відображають їхню висоту, глибину та взаємозв'язок із землею.

Аналіз нормативно-правового регулювання 3D-кадастру в США, Канаді, Норвегії, Хорватії та Угорщині показує, що кожна з описаних вище країн рухається до впровадження цієї технології власним шляхом. Найбільш просунутими є США та Канада, де існують чіткі стандарти збору й обробки просторових даних, а 3D-моделювання вже використовується у кадастрових системах. У Норвегії та Хорватії створено законодавчі рамки для роботи з геопросторовою інформацією, проте реєстрація 3D-об'єктів ще не повністю врегульована.

Загалом ефективність 3D-кадастру залежить від законодавчої підтримки, рівня цифровізації кадастрових даних та інтеграції сучасних технологій. Країни, що активно впроваджують такі системи, отримують більш точний облік нерухомості та землекористування, що покращує просторове планування та управління територіями.

1.4 Порівняння моделей та підходів до реалізації 3D-кадастру у різних країнах

У світі все більше країн переходять до впровадження 3D-кадастру, що дозволяє реєструвати права власності на об'єкти, розташовані у різних рівнях

простору, включаючи підземні споруди, багаторівневі транспортні розв'язки, мости та тунелі. Однак підходи до його реалізації суттєво різняться залежно від законодавства, технічної інфраструктури та потреб міського планування. У деяких країнах, як-от США, застосовується горизонтальний поділ власності, де різні рівні простору можуть належати різним власникам, а також активно використовується продаж «повітряних прав». Водночас у Європі розробляються інтегровані 3D-кадастрові моделі, які об'єднують дані про земельні ділянки, будівлі та інженерні комунікації, як це впроваджено у Хорватії, Норвегії та Швеції.

В Азії передові країни, такі як Сінгапур та Південна Корея, активно застосовують 3D-кадастр у межах концепції «розумного міста», використовуючи технології Building Information Modeling (далі - BIM) та цифрові двійники територій. Угорщина, своєю чергою, орієнтується на створення єдиної 3D-бази кадастрових карт, яка поєднує інформацію про власність та реальні просторові об'єкти. Кожен із цих підходів має свої переваги та виклики, зокрема питання правового забезпечення, стандартизації форматів даних і методів збору інформації.

Найкращі практики впровадження 3D-кадастру в Азії. В Азії ряд держав є лідерами впровадження 3D-кадастру. Сінгапур («обмежена земля – необмежений простір») – одна з перших країн, що переходять до повноцінного 3D-кадастру в умовах дефіциту земель. Ще з 2000-х Сінгапурська земельна влада (SLA) модернізує кадастр: запроваджено єдину цифрову систему координат, мережу CORS, електронну подачу даних тощо.

На даний момент проводяться пілотні проекти із створення «цифрового 3D-кадастрового подання» для багатоповерхових об'єктів. Влада тестує інтеграцію BIM-технологій (детальніше - розділ 2) у кадастрову зйомку: проводиться 3D-сканування та моделювання хмар точок будівель, щоб отримувати точні цифрові моделі кондомініумів і передавати їх в кадастр.

Основні чотири напрямки впровадження – це технології 3D-зйомки та робочі процеси; модель даних 3D-кадастру; засоби перевірки та візуалізації 3D-подань; нормативно-правова база. За час впровадження було опрацьовано формат обміну даними *SG LandXML*, що дозволяє автоматично перевіряти подані геопросторові дані про об'єкти щодо правил (межі, висоти тощо). [33]

Південна Корея також впроваджує 3D-кадастр як державну програму. У Сеулі ще у 2009 році стартував пілотний проєкт: були проведені 3D-кадастрові зйомки на вибраних ділянках, встановлено RFID-мітки для позначення меж під землею, розроблено методики реєстрації багаторівневих прав. Одночасно з цим уряд Республіки Корея прийняв політику створення національної інфраструктури просторових даних (NSDI) з 3D-компонентом – фактично 3D-кадастру – як основи «просторової інформаційної індустрії» на майбутнє.

Результати пілоту виявили проблемні моменти (точність моделювання, законодавчі колізії), але держава планує вирішити їх і поступово впровадити 3D-реєстрацію повсюдно. [34]

Серед інших успішних прикладів в Азії – *Малайзія* (розроблено прототип 3D-кадастру в межах моделі LADM, тестування в густонаселених районах) та *Індонезія* (пілотні проєкти у Джакарті з реєстрації багатоповерхових об'єктів і підземних тунелів). Таким чином, азійські мегаполіси (Сінгапур, Сеул, Куала-Лумпур та ін.) виступають полігонами для новітніх 3D-кадастрових рішень, обумовлених надзвичайно високою щільністю забудови.

У статті «Analysis of 3D Property Situations in the USA» автори зазначають, що в *Сполучених штатах Америки* закон дозволяє горизонтальний поділ нерухомості з окремою власністю на шари простору над і під землею. Фактично земельна ділянка може бути «стратифікована» – різні власники володіють окремими об'ємними частинами (кубами простору) над чи під поверхнею. Це реалізується через механізми, як довгострокова оренда (leasehold) або «кондомініум» (багатоквартирна спільна власність). [24]

Правова система США (за винятком штату Луїзіана) ґрунтується на англо-американському загальному праві (common law) і історично успадкувала принцип, сформульований латинською максимою *cuius est solum, eius est usque ad coelum et ad inferos* – «чий ґрунт, того є те, що простягається від небес до пекла». Тобто за загальним правилом власник землі має права на простір над і під поверхнею земельної ділянки. Водночас, іще з початку ХХ століття право США визнає можливість відокремлення прав на вертикальному зрізі простору – так званий горизонтальний поділ власності (horizontal division). По суті, титул на землю може бути *стратифікований*, тобто поділений на декілька шарів, закріплених за різними власниками. Власники таких шарів володіють певними *кубічними частинами простору* – або під поверхнею, або над нею.

У щільних містах поширений продаж «повітряних прав» – права забудови простору над об'єктом. У практиці США існує декілька способів оформлення горизонтального поділу та передачі «надземної» частини нерухомості іншому власнику чи користувачу. Ці способи були класифіковані ще в 1960-х роках у процесі реалізації перших масштабних проектів з освоєння простору над транспортною інфраструктурою (див. наступний розділ). [25]

Найбільш типовими варіантами є довгострокова оренда повітряного простору (власник землі/об'єкта надає забудовнику право використовувати визначений простір над ділянкою на тривалий строк. Одночасно оренду можуть надаватися необхідні елементи на землі для опор (фундаменти, колони). Після завершення строку оренди права повертаються до початкового власника, разом з правом власності на побудовану в цьому просторі конструкцію. Цей механізм часто застосовувався залізничними компаніями та містами: наприклад, залізниця Нью-Йорка ще на початку ХХ ст. здавала в оренду повітряний простір над коліями уздовж Park Avenue для спорудження прибуткових будівель); продаж повного права власності на ділянку разом із повітряним простором, але зі збереженням сервітуту на використання поверхні первинним власником (у цьому випадку забудовник отримує у власність і землю, і простір над нею, а початковий власник (наприклад, залізниця) залишає за собою право

продовжувати експлуатувати поверхню (рейковий шлях, дорогу тощо). Така схема дає забудовнику максимальну гнучкість та полегшує отримання фінансування під проект, оскільки кредитор має справу з повноцінним правом власності, а не орендою. Прикладом є продаж частини смуги відчуження залізниці Long Island Railroad у районі К'ю Гарденс (Нью-Йорк) під житлову забудову: через складність іпотечного кредитування проекту на умовах оренди, залізниця була змушена продати цю землю, залишивши собі лише постійний сервітут для колій); продаж прав на повітряний простір над визначеною висотною відміткою з оформленням окремого кадастрового «повітряного лота (air lot) (як правило, додатково надаються необхідні сервітутні права або продаються у власність тільки опорні точки на землі (так звані «caisson lots» – ділянки під фундаменти і колони). У результаті виникає два сусідніх титули власності, розділених горизонтально: нижній – на землю (з обмеженням забудови вище певної висоти), і верхній – на простір над цією висотою разом із опорами. Цей метод було вперше застосовано в Чикаго при будівництві комплексу Merchandise Mart – торговельного центру, зведеного частково над залізничними коліями. Земельна ділянка під Mart була офіційно розбита на вертикально та горизонтально сегментовані лоти, в тому числі повітряні лоти і лоти під фундаменти. Забудовник придбав у власність саме повітряний простір для будівлі і окремі ділянки на землі для розміщення опорних конструкцій. Аналогічно було реалізовано проект хмарочоса Prudential Building у Чикаго); комбіновані схеми з продажем повітряних прав із встановленням умов цільового використання.

Таким чином, у США склалася практика реєстрації багаторівневої власності (у тому числі продаж прав на повітряний простір), хоча сам кадастр залишається децентралізованим і переважно 2D (реєстри ведуться на рівні штатів). [26]

Хорватія рухається до інтегрованого 3D та 4D кадастру, поєднуючи облік нерухомості з інженерною інфраструктурою. Нещодавні реформи передбачають, що кадастр та земельна книга фіксують усі зміни з часом (четвертий вимір), створюючи «4D-кадастр».

Усі зміни щодо ділянок і об'єктів реєструються з датою, що дозволяє відстежувати історію власності та забудови. Новий закон про кадастр, прийнятий у 2022 році легалізує реєстрацію об'ємних об'єктів (3D-власності) і створює єдиний державний реєстр інженерних мереж. Зокрема, планується об'єднати дані земельного кадастру і кадастру комунікацій (інженерних мереж) на державному рівні. Це важливо, оскільки раніше комунальні мережі обліковувалися окремо на місцевому рівні, що ускладнювало врахування підземних трубопроводів, тунелів тощо. [27]

Серед реальних практичних кейсів можна згадати Avenue Mall у Загребі, де в кадастрі відображено стан ділянки до забудови (2002 р.) і після неї (споруджено ТРЦ з підземними паркінгами) – така 4D-модель фіксує трансформацію території в часі. Інший випадок – офісна будівля над автострадою біля Загреба: будівля зведена над дорогою, утворюючи проїзд під собою. Для неї запроваджено спеціальне картографічне позначення об'єкта, що *перекриває* транспортну інфраструктуру. Таким чином, хорватський 3D-кадастр прагне відображати складні об'єкти (наприклад, будівлі над дорогами, тунелі, мости) у поєднанні з часом (4D) та інтеграцією мереж.

Скандинавські країни активно тестують 3D-кадастр у містах. *Швеція* у 2004 році внесла зміни до законодавства, що дозволили створювати об'ємні земельні ділянки (3D-власність) нарівні з традиційними 2D-ділянками. 3D-ділянка в Швеції оформлюється як повноцінна власність, яка може бути іпотекована і зареєстрована в реєстрі нерухомості. Серед основних вимог є те, що така 3D-власність повинна містити будівлю або її частину і мати самостійне призначення; «порожні» об'єми без споруд не допускаються (наприклад, багаторівневий торговий центр чи підземний паркінг можуть бути оформлені як окремі 3D-ділянки). Власне, закон спрямований на полегшення управління комплексними об'єктами – наприклад, коли різні частини будівлі належать різним власникам. Наразі у Швеції сформовано тисячі 3D-об'єктів (за перші роки було створено ~25 таких ділянок у 2004 році, а станом на 2021 р. – вже понад 4,600 об'єктів).

У Стокгольмі реалізовано пілотний проєкт із впровадження повноцінного 3D-кадастру – відпрацьовано процеси формування та реєстрації об’ємних ділянок, хоча державний реєстр поки що не зберігає повну 3D-геометрію (лише 2D-проекції з атрибутами висот) [29].

Норвегія ще у 1987 році запустила в Осло експериментальну систему реєстрації тривимірних об’єктів, оскільки чинний тоді закон не дозволяв чітко обліковувати підземні споруди. Досвід Осло ліг в основу нового Закону про кадастр, прийнятого у 2005 році (набув чинності 2007) [30]. Цей закон запровадив поняття «*конструктивна власність*» (bygningseierseksjon) – окремі об’єкти нерухомості, розташовані вище чи нижче поверхні землі. Наприклад, тунель, підземний торговий центр або споруда на палях над землею можуть реєструватися як окремі земельні ділянки (3D-«парцели») з присвоєнням кадастрового номера. При цьому такий об’єкт повинен бути пов’язаний з конкретною будовою (існуючою чи запланованою), а «висячі у повітрі» об’єми без будівель не допускаються – аналогічно до шведського підходу.

Після набуття чинності закону, багато підземних об’ємів, раніше створених містом Осло, отримали офіційний статус 3D-ділянок. Норвегія продовжує пілотні проєкти 3D-кадастру в урбанізованих зонах, впроваджуючи національну базу 3D-ділянок і обговорюючи питання стандартів даних та візуалізації. [28]

Угорщина має єдину систему кадастру і реєстру прав, яка ще з 1990-х технічно готова до 3D, але нормативно це закріплено нещодавно. Ще з 1972 р. запроваджено облік об’єктів типу кондомініумів (квартир у багатоповерхівках) у земельному реєстрі, тобто елементи «3D-власності» існували де-факто. З 1996 р. діє стандарт MSZ 7772-1, що визначив структуру бази даних кадастру з підтримкою 3D-об’єктів. Однак до останнього часу ці 3D-можливості не використовувалися повністю – кадастр фактично фіксував лише 2D-плани ділянок, а поверхневі та підземні об’єкти прив’язувалися описово. У 2013 році прийнято новий Закон «Про геодезію та картографію», який прямо ввів поняття 3D-кадастру. Згідно з ним, «*об’єкти, що проходять під або над землею, з єдиним правовим статусом, підлягають реєстрації як окрема власність у земельному*

кадастрі». Тобто тунелі, мости, естакади, підземні паркінги тощо з одним власником повинні мати окремі кадастрові номери нарівні зі звичайними ділянками. Ця норма набула чинності з 1 січня 2014 р. [31]

Паралельно Угорщина оцифрувала всі кадастрові карти, об'єднавши графічні дані з реєстром прав, і створила онлайн-систему TAKARNET24 для доступу до даних з 2011 р..

Нині здійснюється підготовка практичних рішень для впровадження реєстрації 3D-об'єктів – наприклад розробка 3D-карт підземних комунікацій та багаторівневих будівель для внесення в кадастр (пілотні проекти в Будапешті).

Угорський підхід робить акцент на поєднанні правової інформації та геометрії: у єдиній базі даних можуть зберігатися як традиційні 2D-ділянки, так і тривимірні моделі об'єктів (при наявності відповідних даних), що забезпечить більш точний облік землі. [32]

Для наочності нижче наведено рис. 1.4.5.1. та 1.4.5.2 з ключовими характеристиками моделей 3D-кадастру різних країн:

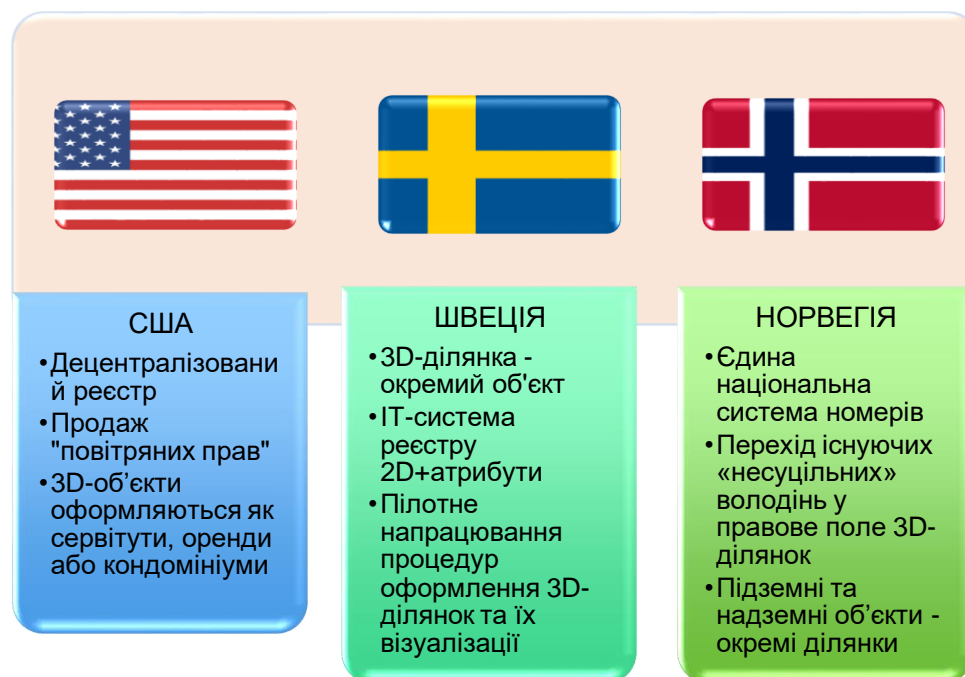


Рис. 1.4.5.1. Ключові характеристики моделей 3D-кадастру США, Швеції та Норвегії (авторська розробка)



Рис. 1.4.5.2. Ключові характеристики моделей 3D-кадастру Хорватії та Угорщини (авторська розробка)

1.5 Використання 3D-кадастру у міському плануванні, інфраструктурі та земельному управлінні

Тривимірний кадастр відкриває нові можливості для планувальників міст, інженерів та управлінців земельними ресурсами.

По-перше, 3D-кадастрові дані дозволяють більш точно відображати реальну конфігурацію міського простору, де об'єкти часто розташовані поверх або під іншими. У традиційному 2D-плані такі складні ситуації неочевидні: наприклад, будівля з аркою, через яку проходить дорога, на карті виглядає як суцільний контур і не показує, що частина простору під нею є публічною дорогою. [35]

На *рис. 1.5.1.* видно приклад: фотографія будинку з проїздом вниз (ліворуч) та його відображення на плоскій кадастровій карті (праворуч, виділено червоним) – звичайна карта фіксує лише зовнішній периметр будівлі, не

розрізняючи рівні використання простору. 3D-кадастр усуває цю невідповідність, моделюючи міський простір у трьох вимірах, що робить «фізичне» місто та «юридичне» місто сумісними.

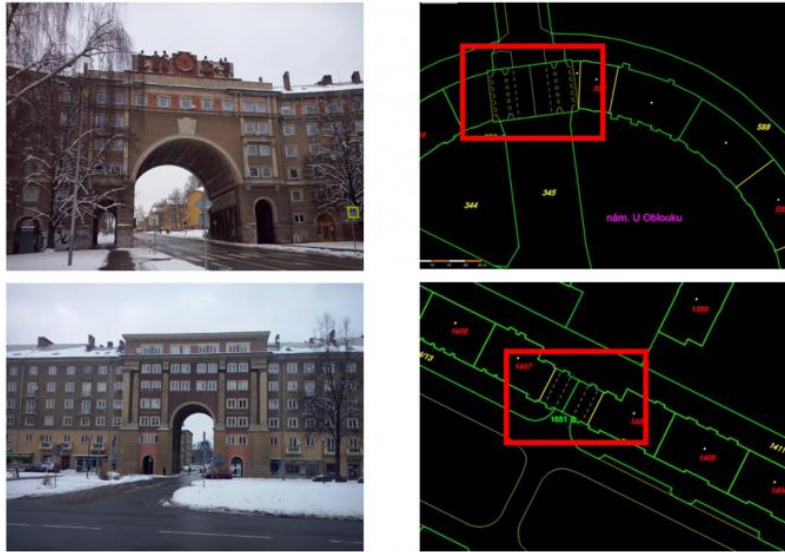


Рис. 1.5.1. Будівля з аркою (вул. U Oblouku) [36]

Ліворуч – фото будівлі, що перекинута над проїжджою частиною; праворуч – фрагмент 2D-кадастрової карти тієї ж ділянки (червоним обведено контур будинку). Видно, що на карті не відображено тунель під будинком, тоді як у реальності дорога проходить скрізь нього. 3D-кадастр вирішує цю проблему, дозволяючи реєструвати окремо простір дороги і будови (джерело: GIM International) [36]

Це важливо для міст із щільною забудовою, де земельні ділянки використовуються «шарами»: надземні переходи, підземні тунелі метро, парковки у кілька рівнів тощо – все це потребує чіткого юридичного обліку. 3D-кадастр якраз забезпечує такий облік, даючи інструмент для однозначної реєстрації прав у складно структурованому просторі

Для міського планування поява 3D-кадастру означає перехід до об'ємного бачення міста при розробці генеральних планів і зонування. Планувальники можуть оперувати поняттями тривимірних зон та обмежень. Наприклад, замість традиційного 2D-зонування вводиться поняття «просторового планування» – коли висотні регламенти, кути нахилу, рівні підземної забудови прив'язуються до

конкретних об'ємів. За допомогою 3D-моделей можна аналізувати тіні від забудови, перегляд з вікон, вплив висотності на навколишнє середовище – те, чого не видно на плоскій карті. Крім того, стає можливим розрахунок і візуалізація показників щільності забудови у тривимірному розрізі, таких як фактичне використання допустимого об'єму будівлі.

Так, у GIS можна накладати проектні 3D-моделі на існуючі і бачити, наскільки вони вичерпують максимально дозволений об'єм будівництва (коефіцієнт використання території).

Як зазначають Карел Янечка та Герхард Навратіл[36], 3D-візуалізація базових, максимальних та фактичних показників (наприклад, *floor area ratio*) для кожної ділянки значно спрощує прийняття рішень щодо видачі дозволів або продажу прав на додаткову забудову.

Іншими словами, 3D-кадастр дозволяє реалізувати нові інструменти управління земельними ресурсами, як-от торгівля об'ємами забудови, більш гнучке зонування (4D-зонування з урахуванням часу) тощо.

Не менш важливий 3D-кадастр для управління інженерною інфраструктурою. У сучасних містах під землею знаходяться розгалужені мережі – трубопроводи, кабелі, транспортні тунелі. Зазвичай їх облік здійснюється в окремих кадастрах/розділах кадастрів, часто без прив'язки до прав на землю. 3D-кадастр дає змогу інтегрувати ці дані: зареєструвати, наприклад, тунель метро як об'єкт, що проходить через об'ємні ділянки під багатьма поверхневими ділянками. Це вирішує питання юридичного статусу – кожний підземний об'єкт отримає визначені координати та правовий опис щодо перетину з приватною власністю.

Таким чином, при плануванні нової інфраструктури легко перевірити, чи не порушуються чийсь майнові права, або навпаки – які об'єкти треба викупити/орендувати для прокладання мережі. Як зазначено в літературі, зростаюча складність інфраструктури в густонаселених районах «вимагає належної реєстрації їх правового статусу (приватного і публічного), чого 2D-кадастр може забезпечити лише в обмеженій мірі». [35]

3D-підхід дозволяє чітко розмежувати, де проходить, наприклад, колектор (в межах якої об'ємної ділянки), хто є його балансоутримувачем і на підставі якого права (сервітут, аренда тощо).

Для управління земельними ресурсами 3D-кадастр є складовою більш широкої концепції – багатофункціонального кадастру. Він поєднує інформацію про права власності, характеристики рельєфу, забудови, інфраструктури, екологічні обмеження тощо в єдиному просторі даних. [39]

Впровадження провадження 3D-кадастру суттєво підсилює можливості міського планування, управління інфраструктурою та землеустрою. Воно зменшує «інформаційний розрив» між реальним тривимірним світом і його відображенням у даних, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку територій, використання підземного простору, розміщення об'єктів і захисту прав власності в умовах щільної багаторівневої забудови. [37]

1.6 Концепція «розумного міста», 4D- та 5D-кадастр як нове покоління розвитку територій

Термін «розумне місто» (smart city) виник у 1990-х роках як відповідь на інтеграцію інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в управління міською інфраструктурою. Уперше концепт отримав наукове формулювання через технократичну парадигму: застосування ІКТ задля підвищення ефективності управління містами. Згодом трактування терміна трансформувалося у більш комплексне: smart city визначається як система, у якій поєднуються технологічні інструменти, людський капітал і ефективне врядування.

У науковій літературі термін утвердився через публікації Caragliu, Del Bo, Nijkamp (2011), які запропонували одне з найбільш цитованих визначень: *«Розумне місто — це простір, де інвестиції в людський та соціальний капітал, транспортну і цифрову інфраструктуру сприяють сталому економічному зростанню та високій якості життя за умови раціонального управління природними ресурсами і активної участі громадян»* [38].

Науковці Nam і Pardo (2011) уточнили, що smart city складається з трьох інтегрованих компонентів: технологічного, людського та інституційного. Hollands (2008) наголосив на критичному осмисленні концепції, вказуючи на ризики її редукції до маркетингового інструмента високотехнологічного урбанізму [39].

У подальших дослідженнях було виокремлено шість основних вимірів smart city: розумна економіка, мобільність, навколишнє середовище, управління, спосіб життя та люди. Ці категорії стали основою класифікації міського розвитку в умовах цифрової трансформації [40].

Smart city прямо пов'язаний із просторовим плануванням і цифровими кадастрами. Цифровий кадастр — ключовий компонент просторової інформаційної інфраструктури, що забезпечує реєстрацію прав, меж та обмежень у просторі. Таким чином, кадастрова інформація слугує базою для інтеграції урбаністичних даних і прийняття рішень у межах концепції smart city.

Термін «розумне місто» (*smart city*) позначає місто, яке широко застосовує інформаційно-комунікаційні технології для покращення якості життя людей і сталого розвитку міської інфраструктури.

Існують різні моделі та підходи до реалізації цієї концепції, проте усі вони зосереджені на інтеграції міських систем і даних. Розумне місто можна розглядати через призму кількох взаємопов'язаних сфер: розумне врядування, розумна економіка, розумна мобільність, розумне довкілля, розумний життєвий простір та розумні люди. Зокрема, європейські дослідники (наприклад, група під керівництвом Р. Гіффінгера) виділяють шість ключових напрямів розвитку smart city: цифрове урядування, інноваційна економіка, екологічна стійкість, транспорт і мобільність, високий рівень життя та розвиток людського капіталу. [41] У практичній площині ці напрями означають: впровадження електронного уряду й відкритих даних (для прозорості та участі громади в управлінні), підтримка підприємництва й «розумних» галузей економіки, екологічний моніторинг і енергоефективність, розвиток громадського транспорту й інфраструктури

зв'язку, високі стандарти безпеки та комфорту в місті, а також освічені та активні мешканці, що користуються цифровими сервісами міста.

Не менш важливим аспектом концепції є технологічна платформа розумного міста. Як згадувалося, сучасні ІКТ-технології – мобільні мережі, хмарні обчислення, великі дані, машинне навчання, інтернет речей тощо – є базисом для рішень smart city. Завдяки їм міська влада може в режимі реального часу отримувати інформацію про роботу різних служб (транспорт, енергопостачання, водопровід, охорона порядку), аналізувати цю інформацію та оперативно реагувати на проблеми.

Наприклад, датчики і камери IoT дозволяють відстежувати трафік та оптимізувати роботу світлофорів, системи моніторингу споживання енергії дають змогу економити ресурси та переключатися на відновлювані джерела, а платформи відкритих даних залучають громадян до генерування корисної інформації (наприклад, про стан доріг або якість повітря). Таким чином, *«розумне місто»* – це не стільки про наявність гаджетів, скільки про створення *єдиної інтегрованої системи міської інфраструктури*, де всі компоненти «спілкуються» між собою через дані та автоматизовані рішення. [43]

Багатовимірний кадастр (4D/5D-кадастр) є важливою складовою для реалізації концепції розумного міста, оскільки надає базову просторову інформацію про усі об'єкти міста в їх розвитку. *Впровадження 4D-кадастру* полягає у модернізації існуючих кадастрових баз даних і процедур реєстрації. Необхідно перейти від статичних 2D-планів до динамічної бази даних, що підтримує запис тривимірних координат об'єктів і пов'язаних із ними часових міток.

На практиці це потребує оновлення програмного забезпечення кадастрових реєстрів, застосування стандартів для тривимірного моделювання (наприклад, CityGML, BIM-моделі будівель) та гармонізації із міжнародними стандартами земельного адміністрування. Одним із ключових стандартів є Land Administration Domain Model (LADM) – модель, рекомендована ООН для систем реєстрації прав

на землю. Нова редакція LADM передбачає підтримку 3D-об'єктів і часових версій, що закладає основу для 4D-кадастру. Крім того, впровадження 4D-виміру вимагає провести повну інвентаризацію існуючих даних про земельні ділянки та нерухомість, оцифрувати історичні зміни, налаштувати регулярне оновлення інформації (наприклад, автоматично фіксувати зміну власника або нові геодезичні виміри меж). [44]

Розвиток багатовимірних кадастрових систем триває у багатьох державах, насамперед у тих, що активно впроваджують принципи smart city та просторового планування. До прикладу, Нідерланди беруть активну участь у дослідженнях 4D/5D-кадастру: науковці очолили розробку концепції LADM та 5D-моделювання простору, часу і масштабу. Національний кадастр Нідерландів готується до впровадження 3D-реєстрації на постійній основі, накопичуючи досвід пілотних проектів. [45].

Одночасно з цим, в Греції виконано один із перших дослідницьких проектів зі створення прототипу 5D-кадастру. Група під керівництвом проф. К. Іоаннідіса (Афінський політехнічний університет) запропонувала 5D-LIS платформу для багатоцільового земельного кадастру. Методика включала автоматизоване генерування 3D-моделей міської забудови на різні дати та в різній деталізації (LoD), що відповідає концепції 5D (3D + час + масштаб). Пілотний проект був випробуваний на прикладі одного з районів Афін: було побудовано декілька історичних 3D-моделей кварталу і продемонстровано можливість їх інтеграції в єдину систему з масштабуванням та аналізом змін. [46]

Переваги та недоліки впровадження багатовимірного кадастру коротко зображено в таблиці 1.6.1

Таблиця 1.6.1.

Переваги та недоліки впровадження багатовимірного кадастру	
Переваги	Недоліки

Комплексне управління ресурсами	Правові та організаційні питання
Прозорість і зменшення спорів	Фінансові витрати на розробку та впровадження
Актуальність даних	Технічні труднощі та стандартизація
Підтримка планування та розвитку	Управління великими даними
Інтеграція у smart city сервіси	Забезпечення безпеки та конфіденційності
Можливість монетизації даних	

Підсумовуючи, концепція «розумного міста» тісно пов'язана з впровадженням передових інформаційних систем для управління територіями. 4D- і 5D-кадастр виступають одними з ключових елементів такої інфраструктури, забезпечуючи багатовимірне відображення міського простору та його розвитку в часі. Досвід провідних країн показує, що перехід до 3D/4D-моделей кадастру сприяє кращому плануванню, прозорості та ефективності управління. Водночас впровадження цих технологій потребує вирішення низки викликів – від оновлення законодавства до створення нових технічних рішень.

Висновки до розділу 1.

1. 3D-кадастр дозволяє фіксувати права на об'єкти у трьох вимірах, що є критично важливим в умовах складної забудови.
2. Уточнено систему понять і виділено провідні наукові підходи до класифікації 3D-об'єктів. Виокремлено три основні підходи до впровадження: геопросторовий, правовий та технологічний, найефективнішим з яких є комбінований.
3. Проаналізовано міжнародний досвід, що доводить залежність ефективності 3D-кадастру від рівня цифровізації та правового забезпечення.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ 3D-КАДАСТРУ

2.1. Основи моделювання 3D-кадастру: формати даних та їхня сумісність

Тривимірний кадастр вимагає принципово іншого підходу до моделювання даних порівняно з традиційним 2D-кадастром. У 2D-системах об'єкти нерухомості представляються лише як площинні ділянки на карті, що не дозволяє повноцінно відобразити просторові межі прав та обмежень у вертикальному вимірі [46]. Натомість у 3D-кадастрі кожен об'єкт (земельна ділянка, будівля, підземна споруда тощо) моделюється як тривимірний просторовий об'єкт – об'єм, обмежений поверхнями. Для адекватного представлення таких об'єктів застосовуються спеціальні *3D формати даних* та моделі представлення. Зокрема, у геоінформаційних системах використовуються векторні моделі із примітивами «точка–лінія–полігон–тіло» (point-line-polygon-solid) Це означає, що геометрія 3D-об'єкта може бути задана вершиною, ребром, гранню або повним об'ємом (поліедром), який моделює просторовий простір об'єкта. Для забезпечення топологічної цілісності даних застосовуються вимоги, аби грані та ребра замикалися без розривів, а об'єми не перекривалися. Така модель даних дозволяє описувати як наземні, так і підземні об'єкти в єдиному просторі.

Формати 3D-даних у кадастрі повинні відповідати міжнародним стандартам, щоб забезпечити обмін та сумісність між різними програмними системами. Існує кілька відкритих форматів, які набули поширення для зберігання та передачі тривимірних геоданих: CityGML, IndoorGML, LandXML/InfraGML, Industry Foundation Classes (IFC) тощо [47].

CityGML – це стандарт OGC для 3D-моделювання міського середовища, який дозволяє представляти будівлі, споруди та інші об'єкти на різних рівнях деталізації (LoD). Наприклад, LoD1 описує будівлі як прости тіли (призми) на ділянці, LoD2 – з урахуванням форми дахів, LoD3 – з детальними фасадами, LoD4 – з внутрішнім плануванням приміщень [41]. Така багаторівнева модель

деталізації забезпечує гнучкість: для кадастру часто достатньо грубішого рівня (напр., LoD1–LoD2) для відображення меж, тоді як детальні моделі можуть використовуватися для аналізу. *IFC* – відкритий формат BIM для обміну інформацією про будівлі; він містить точні 3D-моделі будівель і інженерних систем. Для 3D-кадастру формат IFC є цінним джерелом даних про внутрішню структуру будівлі (квартири, поверхи), але його потрібно інтегрувати з геопросторовими системами (оскільки BIM-моделі зазвичай мають власну систему координат і не прив'язані до географічних координат). *LandXML/InfraGML* – формати, призначені для обміну інформацією про просторові об'єкти інфраструктури та земельні ділянки, зокрема вони підтримують тривимірні координати та можуть застосовуватися для передачі даних про межі 3D-ділянок (наприклад, у системах реєстрації земель Австралії та інших країн). Важливо, щоб обрані формати даних були *сумісні* між собою та з інформаційними системами: це дозволить без втрат переносити модель 3D-кадастру з BIM-систем у ГІС і навпаки [48].

Однією з концептуальних основ 3D-кадастру є модель земельно-кадастрового домену (LADM – *Land Administration Domain Model*, ISO 19152). Цей стандарт описує базові класи для реєстрації прав на землю, включно з можливістю моделювання тривимірних просторових одиниць (*parcel as volume*). [35] Фактично LADM закладає основу для інтероперабельності: різні системи (реєстри прав, кадастрові бази, GIS/BIM) можуть обмінюватися даними про одні й ті самі об'єкти, якщо вони дотримуються єдиної концептуальної схеми. Згідно з дослідженнями Міжнародної федерації геодезистів (FIG), традиційні кадастрові моделі даних базуються на концепції 2D-ділянки і лише розширюють її для 3D-вимог, що є недостатнім підходом [50].

Група австралійських дослідників (А. Aien та ін.) запропонувала три принципи побудови 3D-моделі кадастрових даних, які враховують просторовий обсяг прав:

- 1) модель 2D-кадастру має бути підмножиною моделі 3D-кадастру;

- 2) модель 3D-кадастру повинна забезпечувати не тільки реєстрацію прав/обмежень (RRR – *Rights, Restrictions, Responsibilities*), пов'язаних із фізичними об'єктами, а й явне представлення просторових меж цих прав у 3D;
- 3) модель повинна підтримувати широкий спектр функцій земельного адміністрування (облік прав, оцінка, використання, забудова) у необхідних деталях.

Дотримання таких принципів гарантує, що 3D-кадастр не просто накладає тривимірні об'єкти поверх застарілої 2D-системи, а інтегрує правовий і фізичний простір в єдину структуру даних. Наприклад, у моделі *Legal Property Object* (правовий об'єкт власності), запропонованій Aien та співавторами, об'єднуються правова інформація (інтереси, права) і її просторові межі в одному об'єкті, що дає змогу реєструвати складні об'єкти (багатоповерхові будинки, інженерні мережі) з усіма пов'язаними правами [49].

Основи моделювання 3D-кадастру спираються на використання об'ємних моделей об'єктів, стандартизованих форматів (для сумісності) та концептуальних схем, які поєднують правові та геометричні аспекти. Відповідність даних міжнародним стандартам і принципам (LADM, CityGML, IFC тощо) сприяє тому, що різні інформаційні системи (GIS, реєстри, BIM) можуть обмінюватися даними про тривимірні об'єкти без втрати змісту та точності. Це закладає фундамент для подальшої технічної реалізації 3D-кадастру.

2.2. Використання ГІС, BIM та інших технологій у 3D-кадастрі

Реалізація 3D-кадастру неможлива без сучасних інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних систем та технологій інформаційного моделювання будівель (BIM). ГІС забезпечують зберігання, аналіз та візуалізацію просторових даних у трьох вимірах. На відміну від традиційних 2D-карт, сучасні ГІС-платформи (ArcGIS Pro, QGIS 3D, CityEngine тощо) дозволяють відтворювати міське середовище у вигляді тривимірної сцени, де кожен об'єкт

має свої координати X, Y, Z. Важливо, що ГІС дає змогу не лише візуалізувати об'єми, але й робити *тематичне відображення* та аналіз. Наприклад, можна пов'язати атрибутивні дані (власник, право, площа) з геометрією 3D-об'єкта і будувати запити: пошук всіх квартир на певному поверсі, перевірка перетину (чи не накладаються два об'єкти у просторі), розрахунок об'ємів для оподаткування тощо. За даними досліджень, 3D-сценарії у ГІС часто більш інформативні для містобудівного планування, ніж традиційні 2D-плани чи навіть фотографії, оскільки дозволяють одночасно відображати різноманітну інформацію (просторову, правову, статистичну) [45]. Таким чином, ГІС-платформа виступає базою для інтеграції різних шарів даних 3D-кадастру – від меж земельної ділянки до контурів будівель і підземних комунікацій – і забезпечує інструменти для роботи з ними.

ВІМ-технології (Building Information Modeling) сьогодні широко використовуються в архітектурі та будівництві для детального тривимірного моделювання будівель. Дані ВІМ містять геометрію всіх елементів будівлі (стіни, поверхи, кімнати) та їхні семантичні характеристики (призначення приміщень, матеріали, технічні системи тощо). Використання ВІМ у 3D-кадастрі відкриває можливість автоматизовано отримувати точні контури приміщень, квартир, паркомісць – тих об'єктів, що підлягають окремій реєстрації прав. Одним із прикладів успішної інтеграції ВІМ та кадастру є пілотні проекти, де здійснюється перенесення «ас-білт» (*as-built*) моделей до кадастрової системи. Зокрема, корейські науковці запропонували фреймворк 3D-кадастру, в якому на основі детальної ВІМ-моделі створено тривимірний кадастровий план для підземної інфраструктури (станції метро). У цьому проекті використано лазерне сканування для отримання геометрії підземних приміщень, далі побудовано інформаційну ВІМ-модель на основі сканів, проведено перевірку точності за допомогою геодезичних вимірів, а тоді з моделі згенеровано 3D-карти кадастру (поземний план, розрізи тощо). Результати підтвердили, що така інтеграція ВІМ та ГІС дозволяє реєструвати права, обмеження й відповідальності (RRR) на підземні об'єкти належним чином [38]. Цей приклад демонструє переваги ВІМ:

висока деталізація забезпечує точність кадастрових даних, особливо для складних об'єктів (тунелі, підземні паркінги, торгові центри). BIM-моделі можуть використовуватися як джерело достовірної інформації про внутрішню структуру будівлі при формуванні кадастрових об'єктів (наприклад, контури квартир для реєстру прав власності на квартири).

Окрім ГІС та BIM, у впровадженні 3D-кадастру важливу роль відіграють й інші технології. По-перше, це *геодезичні та картографічні технології збору даних*. Сучасні інструменти лазерного сканування (наземного та аеро) дають змогу швидко отримувати хмару точок, з якої моделюються 3D-об'єкти місцевості. Безпілотні літальні апарати (дрони) з високоточними камерами дозволяють будувати тривимірні фотограмметричні моделі рельєфу та забудови.

По-друге, *просторові бази даних* і серверні платформи: для збереження великих обсягів 3D-даних необхідні СУБД, що підтримують просторові типи (Oracle Spatial, PostgreSQL/PostGIS, MS SQL з Geometry/Geography). Ці СУБД можуть зберігати полігони і поліедри та виконувати 3D-запити (наприклад, визначення перетину об'ємів). Вони слугують «серцем» кадастрової системи, забезпечуючи цілісність і багатокористувацький доступ до даних.

По-третє, *візуалізаційні та веб-технології*: для наочного представлення 3D-кадастру громадськості використовуються веб-ГІС з підтримкою 3D (WebGL, тривимірні сценографічні платформи типу CesiumJS). Це дає можливість створити публічні кадастрові карти нового покоління, де користувач може переглядати не лише межі ділянки на площині, а й об'єкти, що знаходяться на різних висотах або під землею.

По-четверте, *CAD/CAE системи*: їх інтеграція потрібна там, де 3D-кадастр перетинається з інженерним проектуванням (наприклад, проекти підземних комунікацій). Інженерні мережі, створені в CAD, можуть імпортуватися до GIS і включатися в кадастр як об'єкти (труби, кабелі з їх просторовим проходженням).

У висновку, екосистема 3D-кадастру є мультидисциплінарною. ГІС відповідає за геопросторову інтеграцію і аналіз, BIM – за детальну інформацію

про структуру будов, *сканування та картографія* – за отримання геометричних даних, *бази даних* – за зберігання і доступ, *веб-технології* – за розповсюдження інформації. Ключовим є забезпечення взаємодії між цими компонентами: наприклад, конвертація BIM->GIS (через формати IFC/CityGML), інтеграція результатів сканування в BIM (як це зроблено в корейському проекті), підключення бази даних до ГІС-клієнтів тощо. Від узгодженості роботи всіх технологічних ланок залежить успіх технічної реалізації 3D-кадастру.

2.3. Методика збору та обробка даних для 3D-кадастру

Для впровадження 3D-кадастру необхідно напрацювати методику, яка охоплює весь цикл роботи з даними: від їх збору «в полі» до підготовки кінцевих кадастрових моделей. Покроковий процес роботи зображено на *рис.2.3.1*, а нижче детальний опис.



*Рис. 2.3.1. Методика збору та обробка даних для 3D-кадастру
(авторська розробка)*

Збір даних для 3D-кадастру може здійснюватися кількома шляхами, залежно від типу об'єктів: *наземні геодезичні вимірювання* (традиційні інструменти, такі як тахеометри, GNSS-приймачі, можуть застосовуватися для визначення координат вузлових точок будівель, споруд, характерних точок рельєфу. У 3D-кадастрі важливо фіксувати не лише проекцію контуру, а й висотні відмітки (Z) ключових точок – наприклад, нульової позначки будинку, висоти поверхів, глибини закладання фундаменту); *лазерне сканування* (один із найефективніших методів отримання тривимірної інформації про об'єкт, адже сканери (наземні або мобільні) за короткий час збирають мільйони точок, які щільно покривають поверхню об'єкта. На основі отриманої *хмари точок* будуються моделі: цифрові моделі рельєфу для земної поверхні та тривимірні моделі будівель/споруд. Наземне лазерне сканування особливо корисне для інвентаризації внутрішнього простору будівель та підземних споруд, де інші методи не дають достатньої точності); *аерофотозйомка та фотограмметрія* (застосовуючи методи фотограмметрії, можна відновити 3D-модель місцевості (генеральний план міста з будівлями), такі моделі зазвичай мають вигляд *текстурованих сіток* або *3D-точкових хмар*, які потім конвертуються у векторні об'єкти (будівлі як багатокутні призми)); *георадар та підземна зйомка* (для підземних комунікацій (трубопроводи, кабелі) застосовуються методи георадарної розвідки, магнітометрії тощо, а також використовуються наявні плани мереж. Дані про підземні об'єкти часто фрагментовані між різними відомствами (водоканал, електромережі).

В рамках 3D-кадастру може проводитися звірка та оцифровка існуючих схематичних планів мереж, їх геоприв'язка та побудова 3D-моделей труб, кабелів у GIS. У деяких країнах ведуться спеціальні «карти інженерних мереж» або реєстри комунікацій, які можуть стати джерелом даних для 3D-кадастру. В Україні інформація про більшість інженерних мереж поки що не інтегрована до єдиної бази – це окремий напрям роботи) [17].

Зібравши вихідні дані, постає завдання *обробки та інтеграції* їх у єдину кадастрову модель. Можна виділити декілька кроків даного процесу, які коротко зображені на *рис.2.3.2.*

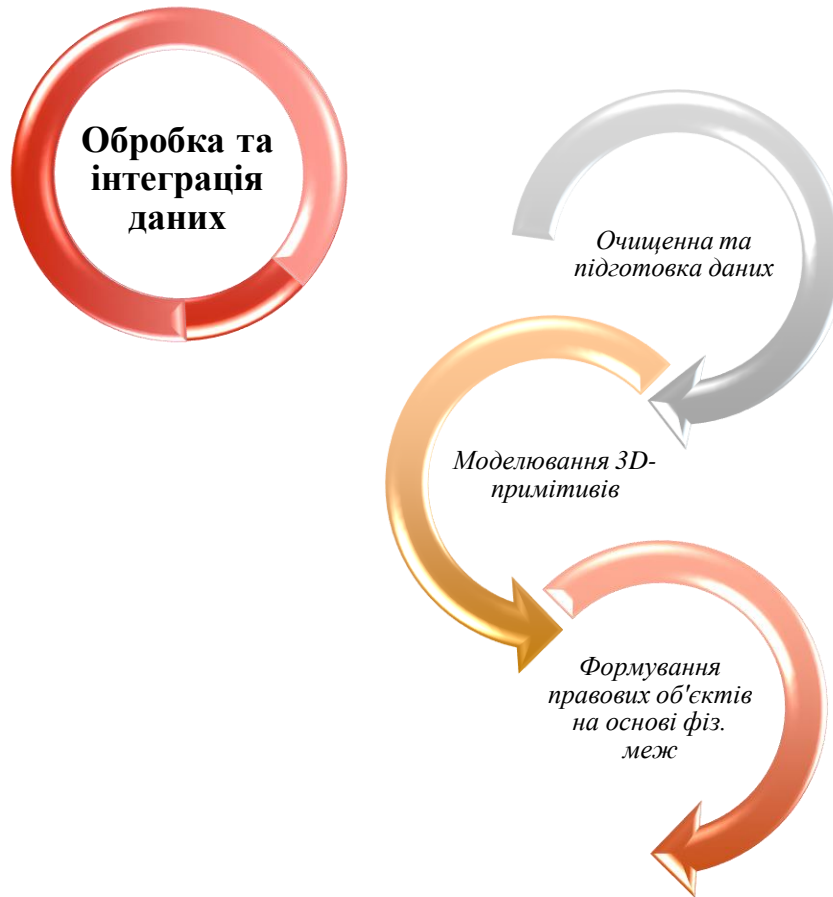


Рис. 2.3.2. Покроковий процес обробки та інтеграції даних в єдину кадастрову модель (авторська розробка)

Детальніше розглядаючи, першим кроком є очищення та підготовка даних: фільтрація шумів у хмарах точок, приведення різнорідних даних до спільної системи координат (геодезичної системи, прийнятої для кадастру). Наприклад, BIM-модель будівлі може мати локальну систему координат, тому її необхідно трансформувати у державну систему (СК-63, UTM тощо) перед внесенням до кадастру.

Другим – моделювання 3D-примітивів: зі сканованої хмари точок виділяються площини стін, стелі, підлоги – таким чином формується

полігональна модель приміщення; з фотограмметричної моделі міста виділяються контури дахів та будівель. Цей етап часто потребує ручної або напів-автоматичної роботи спеціаліста (наприклад, обведення контуру будівлі по точковій моделі).

Третій крок – формування правових об’єктів: на основі фізичних моделей визначаються юридичні межі. Важливо розуміти, що геометрична межа та межа права можуть різнитися: приміром, стіна між квартирами – це фізична межа, а юридична межа проходить посередині цієї стіни. Тому методика повинна передбачати етап узгодження з юристами чи експертами з нерухомості, щоб правильно визначити, який об’єм вважати об’єктом права. Часто для цього використовують концепцію *юридичного простору об’єкта* (legal space of object) – у ВІМ-даних його може не бути явно, тож його конструюють шляхом відступу на певну товщину від фізичних меж або за іншими правилами.

Наступний компонент методики – верифікація та перевірка точності. Оскільки 3D-кадастр має справу з метричною інформацією, яка повинна відповідати реальності й бути юридично значущою, перед внесенням у базу дані перевіряються: залучені інженери-геодезисти мають контролювати точність координат (наприклад, похибка визначення кутів будівлі), топологи перевіряють відсутність помилок (перетин полігонів, розриви поверхонь). У згаданому випадку з підземним кадастром у Кореї після побудови ВІМ-моделі її якість оцінювали шляхом порівняння координат характерних точок з результатами вимірів тахеометром [46]. Такий підхід дозволив переконатися, що модель відображає реальний об’єкт з достатньою точністю для цілей кадастру.

Останній етап – підготовка вихідних кадастрових даних для користувачів і внесення до офіційних реєстрів. Формується набір даних, який включає тривимірні координати поворотних точок меж, описані об’єми (зазвичай у вигляді координат вершин поліедра або параметрично – центр, радіус, висота для циліндрів тощо), а також атрибути (персональний номер об’єкта (для земельної ділянки – кадастровий номер, для об’єктів нерухомості – номер витягу з ДРРП та інше), вид права, власник, пов’язані об’єкти). Ці дані вносяться в базу

Державного земельного кадастру чи/та Державний реєстр речових прав. Паралельно створюються візуальні матеріали: 3D-карти, розрізи, схеми, що наочно показують розташування об'єктів. У згаданому дослідженні Кореї було запропоновано створення трьох типів 3D-картажів для підземного кадастру – ймовірно, це планове зображення, вертикальні профілі та тривимірна модель.

Для традиційного користувача (реєстратора, нотаріуса, землевпорядника) такі карти полегшують розуміння розташування тривимірних ділянок і сусідніх об'єктів. Важливо дотримуватися стандартів оформлення даних при передачі: наприклад, якщо інформація передається як XML-файл, він має відповідати схемі (XSD) формату, прийнятому в кадастрі, щоб його можна було імпортувати без помилок.

Таким чином, методика збору та обробки даних для 3D-кадастру включає низку стадій: від польового збору з використанням сучасних технологій (сканери, дрони, GPS) – до комп'ютерної обробки (моделювання, конвертація) та юридичного узгодження і перевірки якості. Чітке регламентування кожного з цих етапів дозволить отримати достовірні та актуальні тривимірні дані, придатні для внесення до кадастру і подальшого використання у просторі правовідносин.

Висновки до розділу 2.

1. Ключовим фактором технічної реалізації 3D-кадастру є сумісність форматів даних, таких як CityGML, LandXML та IFC.
2. Геоінформаційні системи, ВІМ, лазерне сканування та фотограмметрія забезпечують точне моделювання простору. Точність і повнота результатів залежать від методу збору та подальшої обробки даних.
3. Ефективне впровадження 3D-кадастру потребує створення єдиної цифрової інфраструктури та стандартизації технологічних процесів.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ 3D-КАДАСТРУ В УКРАЇНІ

3.1. Передумови та поточний стан розвитку 3D-кадастру в Україні

Інтенсивний розвиток міст в Україні та ускладнення просторового розмежування прав власності вимагають нового підходу до управління землею – такого, що дасть змогу реєструвати об'єкти нерухомості та права на них у форматі 3D.

Розвинені країни вже накопичили значний досвід у створенні 3D-кадастру. З 2010 року під егідою Міжнародної федерації геодезистів (FIG) проводяться дослідження і конференції, присвячені баченням майбутнього кадастрових систем та переходу до 3D-кадастру на глобальному рівні, опис досвіду впровадження чи шляху до впровадження 3D-кадастру описані в розділі 1. Відомо, що впровадження 3D-кадастру підвищує ефективність управління територіями та забезпечує більш повне відображення правового статусу нерухомості, особливо у містах з високою щільністю забудови [52].

Традиційно державний земельний кадастр оперує двовимірними (плановими) даними про земельні ділянки, що відображають лише поверхню землі. Однак у міських умовах все частіше виникають ситуації багаторівневого використання простору – розміщення різних об'єктів нерухомості один над одним. Це зумовлює необхідність переходу до тривимірного відображення кадастрової інформації та реєстрації об'єктів у вертикальному вимірі. Як зазначає Ю. Дума у статті «Необхідність запровадження 3D-кадастру в Україні», чинне вітчизняне земельне законодавство наразі не передбачає відображення «вертикальних меж» землекористування у кадастрі, хоча технічні можливості для створення такого кадастру вже існують [53]. Відсутність обліку тривимірних параметрів призводить до невідповідності сучасним потребам міст, де інтенсивно освоюються підземні та надземні простори.

Згідно зі ст.79 Земельного кодексу України, право власності на земельну ділянку поширюється не лише на поверхню, але й на простір над та під нею (у межах, необхідних для забудови та обслуговування об'єктів). *Таким чином, на законодавчому рівні закріплено принцип тривимірності прав на землю.* Проте реалізація цього принципу в кадастровій практиці залишається двовимірною – права реєструються лише в межах площі ділянки на земній поверхні [54]. Фактично земельна реєстрація досі оперує поняттям земельної ділянки як частини земної поверхні з встановленими межами і координатами в плані.

Визначення ділянки у нормативних актах і науковій літературі здебільшого зосереджене на поверхневому підході [55]. Базові поняття «3D-ділянка» та «юридичний 3D-простір», на жаль, відсутні. Це означає, що права власності та користування фіксуються тільки щодо земної поверхні, без врахування просторових (висотних) аспектів об'єкта.

У результаті чинна система державного земельного кадастру не в змозі повноцінно відобразити складні багаторівневі ситуації, які виникають в містах, – наприклад, прокладені під землею тунелі чи інженерні мережі, споруди, розташовані над іншими будівлями тощо [56]. На сьогодні в Україні відсутня практика реєстрації меж таких об'єктів у тривимірному просторі.

Наявна кадастрова система у містах не відповідає сучасним вимогам ринкових земельних відносин. За останні роки значно зросла кількість інженерних мереж, підземних комунікацій, багаторівневих паркінгів та інших об'єктів інфраструктури, які займають різні рівні простору під та над поверхнею землі. Проте реєстрація прав на такі об'єкти ускладнена через двовимірні обмеження кадастру. Органи місцевого самоврядування та користувачі земель не мають у кадастровій карті чіткого відображення, де проходять, наприклад, підземні комунікації або які частини простору над ділянкою зайняті іншими об'єктами. Це породжує ризики накладок прав та конфліктів інтересів між різними власниками [56]. Як підкреслює Д. Кондратенко сучасний стан 3D-кадастру в Україні характеризується наявністю багатьох проблем правового, організаційного та технічного характеру, і відсутністю комплексного підходу до

їх вирішення. В Україні досі не запроваджено єдиної стратегії переходу до тривимірного кадастру, хоча окремі аспекти цієї теми вже висвітлювалися науковцями. Зокрема, вітчизняні фахівці порушували питання правового забезпечення 3D-кадастру та використання ГІС-технологій для просторового обліку, однак ці напрацювання фрагментарні.

Більш того, автори статті «3D Cadastre as a Tool for Regulating Property Relations and a Spatial Information Base for Multipurpose Cadastral System» зазначають, що така система підвищує інвестиційну привабливість територій, оскільки власники отримують гарантії реалізації своїх прав на будь-які тривимірні об'єкти нерухомості. Водночас, висотна координата в кадастрі забезпечує 98% захисту від накладень і неправомірної реєстрації меж об'єктів. [57]

Існує нагальна потреба системного підходу до впровадження 3D-кадастру, що охоплює як нормативно-правові зміни, так і розбудову відповідної інфраструктури даних.

Варто зазначити, що у світі тема 3D-кадастру активно досліджується. Багато зарубіжних вчених (Е. Стотер, М. Бенхаму, Я. Дойтшер, Л. Бодум, В. Курс та ін.) розробили теоретичні і методичні основи тривимірного кадастру та впровадили його елементи в окремих країнах. Наприклад, у Швеції, Нідерландах, Хорватії та інших державах здійснено перші кроки до реєстрації прав у тривимірному просторі. Водночас в Україні цьому питанню приділяється недостатньо уваги і досвід зарубіжних колег поки що використовується недостатньо. Таким чином, передумовами розвитку 3D-кадастру в Україні є, з одного боку, об'єктивна необхідність, викликана урбанізацією та технологічним прогресом, а з іншого – наявність теоретичного підґрунтя і зарубіжного досвіду, який можна адаптувати.

Інфраструктурні потреби для запровадження 3D-кадастру охоплюють як матеріально-технічні, так і інформаційні та правові компоненти. Перш за все, потрібне сучасне технологічне забезпечення кадастру: геоінформаційні системи

(ГІС), здатні оперувати тривимірними моделями, високоточні геодезичні дані та цифрові карти рельєфу. На сьогодні існують програмні засоби, що дозволяють створювати і візуалізувати 3D-моделі місцевості та об'єктів (наприклад, модулі ArcGIS 3D Analyst, Autodesk Map 3D тощо). Сучасні ГІС-технології роблять технічно можливим тривимірний підхід до кадастрового обліку. Тому з точки зору ІТ-інфраструктури, створення 3D-кадастру може спиратися на наявні цифрові платформи, потрібно лише адаптувати їх під задачі кадастру.

Другою важливою складовою є інформаційна інфраструктура – бази даних та картографічні матеріали. Для впровадження 3D-кадастру необхідно оновити існуючу картографічну основу, доповнивши її тривимірною інформацією. Зокрема, доцільно створити спеціалізовану базу геодезичних даних, що включатиме висотні координати об'єктів. На думку таких фахівців як Ю. Дюма та Конратенко Д.Ю., ефективне функціонування 3D-кадастру можливе за умови об'єднання земельно-кадастрових даних з даними про об'єкти нерухомого майна, тобто інтеграції двовимірної бази ділянок із тривимірними моделями будівель, інженерних мереж тощо.

В результаті отримаємо єдину інформаційну систему, де для кожної земельної ділянки зберігатиметься не лише площа і координати меж, а й відомості про об'ємний простір (будівлі, споруди, комунікації) на цій ділянці і поблизу неї. [53], [54]

До інфраструктурних передумов належать також правові та організаційні аспекти. Існуюча нормативно-правова база потребує змін для забезпечення тривимірного обліку. Необхідно чітко визначити у законодавстві поняття об'єкта кадастру в 3D-вимірі – запровадити визначення «3D-власності» та «3D-об'єкта нерухомості». Згідно з пропозицією науковців, 3D-об'єктом власності можна вважати частину простору (об'єм), необхідну для використання земельної ділянки або споруди, на яку поширюється право власності відповідно до законодавства [54].

Визнання на законодавчому рівні таких об'єктів дозволить реєструвати права не лише на земельну ділянку як площу, але й на певний об'єм простору. Для цього потрібна модернізація державного земельного кадастру і реєстру речових прав таким чином, щоб вони могли фіксувати тривимірні координати меж об'єктів. Наразі в Україні реєстрація прав на квартири, приміщення в будівлях здійснюється в Державному реєстрі речових прав на нерухоме майно, проте цей реєстр не пов'язаний просторово з кадастровою картою. Інтеграція реєстру прав з кадастровою картою – важливе інфраструктурне завдання, яке потребує вирішення на етапі впровадження 3D-кадастру.

Окремо слід відзначити потребу в кадровому та методичному забезпеченні. Фахівці, що обслуговують кадастрову систему, мають володіти навичками роботи з 3D-даними, розуміти принципи тривимірного моделювання об'єктів нерухомості. Необхідно розробити методики збирання і внесення тривимірних даних до кадастру, стандарти представлення таких даних. Таким чином, інфраструктурні потреби впровадження 3D-кадастру включають: модернізацію програмно-технічних засобів (ГІС, баз даних), оновлення картографічної основи з урахуванням висотної складової, вдосконалення законодавчої бази і інтеграцію інформаційних ресурсів, а також підготовку фахівців відповідної кваліфікації.

Економічний фактор, зокрема зростання вартості землі в містах, є одним з ключових стимулів для впровадження 3D-кадастру. Обмеженість територій у густонаселених міських центрах призводить до того, що кожен квадратний метр землі набуває високої цінності. За таких умов виникає прагнення максимально ефективно використовувати простір не тільки по площі, але й по висоті та глибині. Як відзначає А. Попов у статті «Передумови створення 3D кадастру в Україні», останнім часом значно підвищився інтерес до земельних ділянок та об'єктів нерухомості у містах, особливо у приватній власності, що супроводжується зростанням їхньої вартості [56].

Висока ціна землі стимулює будівництво багатоповерхових об'єктів, освоєння підземного простору (паркінги, торгові центри, тунелі) та інші форми багаторівневого використання міської території. Відповідно, постає питання

забезпечення прозорого обліку прав на кожен «шар» простору, щоб власники та інвестори могли чітко окреслити межі своїх об'єктів.

Урбанізація призвела до появи нових видів об'єктів нерухомості, які не вписуються в традиційну двовимірну модель кадастру. Йдеться про окремі приміщення в багатоповерхових будівлях (квартири, офісні приміщення тощо), підземні споруди, естакади, які розташовані над землею, тощо. Такі об'єкти різних власників можуть знаходитися вертикально один над одним в межах однієї земельної ділянки. Наприклад, на першому поверсі будівлі може бути торговельний центр (власність компанії), а на верхніх поверхах – житлові квартири (власність окремих громадян).

Чинна система кадастру оперує поняттям єдиної земельної ділянки, на якій розташована будівля, і не відображає меж кожного з цих об'єктів у просторі. Внаслідок цього власники приміщень фактично прив'язані до спільної площі ділянки, що може ускладнювати визначення правового статусу кожного об'єкта. Зростання вартості нерухомості робить таку невизначеність неприпустимою, адже кожен об'єкт, розташований навіть на частині ділянки або під землею, має значну ціну і повинен мати чітко окреслені права.

За високої інвестиційної привабливості міського простору істотно зростає кількість операцій з нерухомістю та землекористуванням у вертикальному вимірі. Продаж і оренда підвальних приміщень, дахових надбудов, паркомісць у підземних паркінгах – усе це стало звичайною практикою. Однак здійснення таких операцій вимагає належного кадастрового оформлення. 2D-кадастр не показує, на якій висоті чи глибині розташований об'єкт, що продається або передається в оренду, і чи не перетинається він з іншими об'єктами. Як результат – створює ризики для інвесторів і гальмує ринок.

Впровадження 3D-кадастру прямо пов'язане з необхідністю захисту прав власності в умовах дефіциту міської землі. «Зростання густоти населення та інтенсивності використання землі посилює значення індивідуалізації прав

власності; у містах виникають «особливі права», коли об'єкти різних власників розташовані один над одним», зазначає Дюма.

Іншими словами, економічний тиск (дороговизна землі) робить необхідним впровадження нових механізмів обліку, щоб гарантувати кожному власнику недоторканність його частки простору.

3.2. Виклики та обмеження технічної реалізації 3D-кадастру в Україні

Розробка та впровадження 3D-кадастру – складне завдання для будь-якої країни, і Україна не є винятком. Станом навіть на початок 2020-х жодна держава повністю не реалізувала усі функції справжнього 3D-кадастру [47]. Це зумовлено як технічними, так і правовими та організаційними труднощами. Для України можна виділити декілька ключових викликів у цій сфері:

Технологічні проблеми. Існуюча інфраструктура кадастрових систем в Україні була сформована під 2D-потреби і використовує застарілі програмні рішення. Зокрема, програмне забезпечення, що застосовувалося для обміну даними про земельні ділянки та їх реєстрації, наразі не здатне обробляти тривимірні об'єкти. Потрібен вибір і впровадження нових програмних продуктів, які підтримують 3D-моделі. Бажано, щоб такі системи були інтегровані з ГІС-платформою – це забезпечить сумісність із геопросторовими даними та наявними картографічними матеріалами. Ще один аспект – відсутність єдиних стандартів у країні щодо формату 3D-даних. Якщо кожна установа використовуватиме власний формат, обмін даними буде ускладненим. Необхідно на національному рівні визначити стандартизований формат (наприклад, на основі CityGML або аналогічного) для просторових об'єктів кадастру, а також формати обмінних файлів для реєстрації 3D-прав. До технологічних викликів можна віднести й брак устаткування та обчислювальних ресурсів: обробка 3D-даних вимагає потужних серверів, сховищ великого обсягу та швидких мереж для передачі даних (особливо при роботі з хмарами точок або 3D-моделями міст).

Для багатьох місцевих кадастрових органів оновлення техніки та ПЗ є складним через обмежене фінансування.

Законодавчі проблеми. Українське законодавство поки що оперує поняттями двовимірного простору щодо землі та нерухомості. Право власності реєструється на земельну ділянку (2D) та об'єкти нерухомого майна (будівлі, споруди), але немає чіткого визначення «тривимірної ділянки» або «юридичного об'єму» в законі. Для впровадження 3D-кадастру необхідна адаптація законодавства до нових реалій. Зокрема, слід внести зміни, які б дозволяли реєструвати права власності у вертикальному розрізі – наприклад, право власності на квартиру як окремий об'єм, прив'язаний до спільної земельної ділянки. Наразі квартира реєструється як об'єкт нерухомості з зазначенням адреси та площі, а земельна ділянка під багатоквартирним будинком перебуває у спільній власності співвласників будинку. Проте відобразити на кадастровій карті окремий «шар» для конкретної квартири існуюча система не може. Законодавчо це питання частково врегульоване – існують норми щодо виділення частки землі під багатоквартирним будинком, але технічно реалізувати це у кадастрі поки складно. Також потребує вирішення питання реєстрації підземних просторів: наприклад, аби тунель метро або підземний торговий центр розглядатися як окрема «земельна ділянка» в тривимірному розумінні. Необхідно розробити понятійний апарат: визначити, що таке 3D-кадастр юридично, які об'єкти підлягають реєстрації (квартира, паркомісце, тунель, трубопровід?), як описуються їх межі. Паралельно слід гармонізувати наше законодавство із європейським, де також ведуться подібні процеси, щоб забезпечити сумісність правових підходів.

Організаційні проблеми. Впровадження 3D-кадастру потребує координації між різними відомствами та фахівцями. В Україні облік земельних ділянок веде Державний земельний кадастр (структури Держгеокадастру), а реєстрацію прав на нерухомість – окремий реєстр речових прав (Мін'юст). Для 3D-кадастру ці два реєстри повинні працювати узгоджено, адже йдеться про реєстрацію тривимірних об'єктів, що поєднують характеристику земельної ділянки і об'єкта

нерухомості. Потрібно на високому рівні вирішити питання розподілу повноважень: хто відповідає за ведення тривимірних даних, хто забезпечує їх актуалізацію, як відбувається обмін між кадастром і реєстром прав. Можливо, доведеться створити єдиний центральний орган або інтегровану систему, що об'єднає земельний і нерухомий кадастр – про необхідність цього говорять експерти вже давно. Також організаційним викликом є навчання спеціалістів. Фахівці, що десятиріччями працювали із 2D-картами, потребують перенавчання для роботи з 3D-моделями та опанувати нові інструменти (3D GIS, 3D-моделювання, бази даних). Важливу роль відіграє і фінансування та планування: перехід на 3D-кадастр – проект не одного року, він потребує плану реалізації (спершу пілотні проекти, потім розширення) та стабільного фінансування. Необхідно обґрунтувати економічну доцільність: показати, що інвестиції в 3D-кадастр виправдані підвищенням ефективності управління землями, доходів від податків, зменшенням спорів про межі тощо.

Технічні обмеження та дані. Наразі в Україні відсутня детальна тривимірна модель території, яка б могла бути взята за основу кадастру. Створення 3D-моделей потребує збору великої кількості даних. Пілотні проекти з тривимірного сканування цілих міст або районів ще не проводилися на державному рівні. Частково 3D-моделі створюються у великих містах для містобудівних цілей (наприклад, 3D-модель Києва для потреб урбаністики), але їх треба адаптувати до кадастрових вимог. Також відкритим є питання актуалізації: тривимірні дані швидко застарівають (будуються нові об'єкти, змінюються рельєф при забудові). Потрібно налагодити процес регулярного оновлення 3D-інформації, можливо, шляхом інтеграції з дозволами на будівництво (щоб новий об'єкт автоматично потрапляв у 3D-кадастр ще на етапі проекту/ВІМ).

Незважаючи на ці виклики, перехід до 3D-кадастру є перспективним напрямом для України. Світовий досвід свідчить, що щільна урбанізація і розвиток інфраструктури вимагають більш складних систем обліку, ніж 2D-кадастр [38]. Вже зараз використання простору над і під землею в містах зростає,

виникають ситуації, коли об'єкти накладаються у вертикальній площині (паркінг під парком, торговий центр під площею тощо). Щоб належно захистити права власників та інтереси громади, ці ситуації мають відобразитися у кадастрі.

Перші кроки можуть включати запуск пілотних проектів 3D-кадастру в окремих містах або для окремих типів об'єктів (наприклад, створення 3D-реєстру підземних комунікацій у центрі міста). Це дозволить відпрацювати технології та виявити «вузькі місця» перед масштабуванням на всю країну. Також необхідно активно залучати наукову спільноту та переймати досвід інших країн: на міжнародних конференціях (FIG 3D Cadastre) публікуються результати пілотів, моделі даних, рекомендації, які можуть бути корисними Україні.

Підсумовуючи, технічна реалізація 3D-кадастру в Україні нашою виходить на ряд обмежень – від застарілих технологій та нормативних колізій до відсутності напрацьованої інфраструктури 3D-даних. Проте поступова модернізація кадастрової системи із врахуванням світових принципів (як-от LADM для сумісності даних та впровадження сучасних ГІС/ВІМ-рішень створять основу для впровадження повноцінного 3D-кадастру. Цей перехід є необхідним для забезпечення прозорого і всеосяжного обліку землі та нерухомості у тривимірному просторі, що зрештою сприятиме ефективнішому управлінню територіями та захисту прав власності в Україні.

3.3. Пропозиції щодо вдосконалення системи кадастрового обліку з використанням 3D-моделювання

Для поступового переходу до 3D-кадастру українські науковці та практики пропонують низку кроків щодо вдосконалення існуючої кадастрової системи. Йдеться як про концептуальні моделі впровадження 3D-обліку, так і про конкретні технічні та організаційні заходи. Одне з ключових питань – вибір моделі представлення даних у 3D-форматі. На основі зарубіжного досвіду розглядаються три основні варіанти моделювання кадастру в тривимірному просторі:

1. *Повнофункціональний 3D-кадастр.* У цій моделі до чинної двовимірної системи додається третя координата без жодних обмежень по висоті чи глибині. Кожен об'єкт нерухомості реєструється із вказанням свого просторового об'єму. Такий підхід дозволяє враховувати форму і розташування об'єктів у просторі та потребує відповідних змін у законодавстві для реєстрації прав на об'ємні об'єкти. Повноцінний 3D-кадастр є найамбітнішою моделлю, оскільки передбачає перехід всієї системи обліку на тривимірні координати.

2. *Гібридний кадастр.* При гібридному підході зберігається базова 2D-система (земельні ділянки як площі), але вона доповнюється реєстрацією тривимірних характеристик об'єктів. 3D-об'єкти (будівлі, приміщення, інженерні споруди) «вписуються» в межі відповідних земельних ділянок, поєднуючи двовимірну основу даних з тривимірними даними про об'єкти, що реально існують. Фактично це означає, що до запису про земельну ділянку додаються дані про об'єкти по вертикалі, такий собі перехідний 2,5D-кадастр. Гібридний підхід поступово розвиває 2D-кадастр у напрямі 3D без повної перебудови системи.

3. *Використання 3D-ознак у чинній системі.* Цей варіант передбачає мінімальні зміни: до двовимірного кадастру додаються посилання на тривимірне відображення у разі складних, багаторівневих ситуацій. Тобто в більшості випадків облік залишається 2D, але якщо є вертикальне нашарування об'єктів, до кадастрового запису додається інформація (наприклад, тривимірна модель або координати) про висотне положення кожного об'єкта. Такий підхід теж можна розглядати як проміжний етап, коли 3D-дані використовуються точково, в міру потреби.

Кожна з наведених моделей має свої переваги та складнощі впровадження. Повнофункціональний 3D-кадастр забезпечує *найбільш повне відображення* реальності, але вимагає суттєвої перебудови всієї системи, великих фінансових та технічних ресурсів і, головне, комплексних змін у законодавстві. Гібридний кадастр є *компромісним* варіантом, що дозволяє поєднати нові можливості з

існуючою базою даних; його впровадження може бути поступовим і менш витратним. Використання 3D-елементів у чинній системі – *найпростіший* крок, який може бути реалізований відносно швидко, але він не вирішує всіх проблем, а лише частково компенсує недоліки 2D-підходу.[52]

На думку Ю. Думи у згаданій вище статті, на нинішньому етапі доцільно зосередитися *на розвитку концепції*, що ґрунтується на 3D-ознаках у чинній системі реєстрації, з поступовим переходом до концепції гібридного рішення. Іншими словами, спочатку пропонується впровадити елементи 3D (наприклад, фіксацію висотних відміток будівель, глибин залягання комунікацій) у поточну кадастрову систему. Що буде підґрунтям для створення методичної та технічної бази, підготує дані та кваліфікованих фахівців. На наступному етапі можна буде перейти до більш складного гібридного кадастру, коли повний обсяг 3D-даних інтегрується з двовимірним обліком. Такий поступовий підхід мінімізує ризики та враховує обмежені ресурси.

Окрім вибору моделі даних, пропонуються конкретні заходи з вдосконалення кадастру із застосуванням 3D-моделювання. Один із них – розроблення цифрових тривимірних моделей місцевості та об'єктів нерухомості для використання в кадастровій системі. Це означає, що для міст мають бути створені детальні 3D-моделі будівель, інженерних мереж, рельєфу, які будуть прив'язані до кадастрових номерів ділянок. Такі моделі можуть зберігатися у базі даних кадастру або в геоінформаційній системі, пов'язаній із кадастром.

На думку А. Попова в статті «Передумови створення 3D-кадастру в Україні» пише, що поєднання системи реєстрації прав із ГІС-технологіями дозволить ширше використовувати цифрові 3D-моделі об'єктів нерухомості у суспільному житті та покращить управління земельними ресурсами у містах. Інтеграція кадастру з міською 3D-ГІС надасть можливість візуалізувати розташування об'єктів на різних рівнях, оперативно оновлювати інформацію та наочно демонструвати її користувачам.

Для наповнення кадастру тривимірними даними важливо організувати збір та оновлення інформації про висотні характеристики об'єктів. Пропонується виконати суцільну інвентаризацію багаторівневих об'єктів: провести лазерне сканування територій, використати аерофотознімання та інші методи дистанційного зондування, щоб отримати тривимірні моделі місцевості. Такі проекти доцільно почати з найбільших міст, де проблема найбільш актуальна. Надалі підтримка актуальності даних може здійснюватися шляхом обов'язкової подачі 3D-моделей новозбудованих об'єктів до кадастрових органів при введенні їх в експлуатацію. Також можливо залучати дані супутникового моніторингу – сучасні супутники та дрони здатні регулярно оновлювати модель місцевості. На думку Д. Кондратенка, впровадження 3D-кадастру має супроводжуватися створенням об'ємних (тривимірних) карт та планів місцевості, які постійно оновлюються на основі даних дистанційного зондування. Такі карти стануть наочним інструментом для планувальників, інженерів, інвесторів та інших користувачів кадастрової інформації.

Ще одним напрямом удосконалення є *розробка програмного забезпечення* для роботи з тривимірними кадастровими даними. Необхідно адаптувати існуючі програмні комплекси Державного земельного кадастру для внесення 3D-координат та відображення тривимірних об'єктів. Можливо, знадобиться впровадження нових модулів або навіть окремої підсистеми «3D-кадастр» у складі національної кадастрової системи. Це програмне забезпечення повинно забезпечити сумісність з існуючими даними (кадастровою картою, реєстром прав) і в той же час підтримувати роботу з тривимірними моделями. Вітчизняні спеціалісти досліджують питання стандартів і форматів даних для 3D-кадастру (наприклад, CityGML, LandXML тощо), щоб забезпечити обмін інформацією між різними системами. Впровадження єдиних стандартів дозволить уникнути проблем несумісності та зробить можливим використання даних 3D-кадастру різними відомствами і організаціями (наприклад, містобудівними кадастрами, системами управління інфраструктурою) [55].

3.3. Новітній підхід до інтеграції 3D-кадастру у державну кадастрову систему України

Впровадження 3D-кадастру має бути гармонійно інтегроване у існуючу державну кадастрово-реєстраційну систему. Йдеться про поєднання двох основних компонентів: кадастру (обліку земельних ділянок) та реєстру прав на нерухоме майно, з урахуванням тривимірних характеристик об'єктів. На сьогодні ці компоненти в Україні розділені: Державний земельний кадастр веде Держгеокадастр, а Державний реєстр речових прав – Міністерство юстиції. Новітній підхід полягає в створенні інтегрованої системи, яка б об'єднувала інформацію про земельні ділянки та про об'єкти нерухомості в єдиному тривимірному просторі даних.

Першим кроком до такої інтеграції є *удосконалення законодавства*. Необхідно внести зміни до законів і підзаконних актів, що регулюють земельний кадастр і реєстрацію нерухомості, аби узгодити їх між собою в частині тривимірного обліку. Потрібні чіткі норми щодо реєстрації прав на об'єкти, розташовані у межах об'єму над чи під земельною ділянкою. Також слід визначити порядок встановлення та фіксації меж таких об'єктів. Кондратенко вважає, необхідно більш чітко визначити поняття земельної ділянки в законодавстві, розмежувати права власності на різні об'єкти, що знаходяться на одній ділянці, а також детально врегулювати функціонування тривимірної кадастрової системи та доступ до неї. Без належної правової основи неможливо впровадити новий формат кадастру, оскільки будь-яка реєстрація прав має спиратися на закон. В цьому контексті доцільно врахувати напрацювання юристів, зокрема пропозиції щодо змін до Земельного кодексу та профільних законів, аби легалізувати поняття «об'єм (простір), на який поширюється право» як об'єкта реєстрації прав.

Другим аспектом інтеграції є *інституційне та інформаційне об'єднання кадастру і реєстру*. Світовий досвід показує переваги спільної системи земельного адміністрування. Зокрема, як описувалось в першому розділі – в Угорщині реалізовано об'єднану базу даних кадастру та реєстру прав, що значно

спростило доступ до інформації і дозволило створити тривимірні кадастрові карти. У Хорватії здійснено інтеграцію земельного кадастру з кадастром нерухомості, результатом чого стала своєрідна «4D»-система (тривимірний облік з часовим виміром), яка особливо ефективна для реєстрації об'єктів інфраструктури загального користування. Беручи до уваги ці приклади, для України можливо об'єднати державний земельний кадастр та реєстр прав в єдину інтегровану обліково-реєстраційну систему. Така система міститиме вичерпні дані про кожен об'єкт нерухомості: земельну ділянку (її площу, межі, координати) і пов'язані з нею тривимірні об'єкти (будівлі, приміщення, інженерні мережі) та права на них.

Інтеграція 3D-кадастру також означає *налагодження обміну даними* між різними рівнями і службами. 3D-дані будуть корисними не лише для землевпорядників, але й для містобудівних органів, служб планування інфраструктури, комунальних підприємств. Тому нова система повинна мати продуманий механізм доступу: різні користувачі (органи місцевого самоврядування, представники енерго-сектору, проєктні організації) зможуть отримувати необхідні їм шари тривимірної інформації.

Органам державного управління слід забезпечити легкий доступ до основних даних про всі об'єкти інфраструктури на певній території. Об'єднана кадастрово-реєстраційна система спростить такий доступ: замість звернення до різних реєстрів (земельного, будівельного, інфраструктурного) достатньо буде звернутися до єдиної бази, де через 3D-візуалізацію можна побачити розташування об'єктів. Власники земельних ділянок зможуть дізнатися, які саме інженерні мережі проходять під їх землею або які об'єкти розташовані над нею. Власники інженерних мереж, у свою чергу, отримають кращий захист своїх об'єктів, оскільки вся інформація про них буде врахована при погодженні нових проєктів, що запобігатиме випадковим пошкодженням комунікацій.

Новітній підхід до інтеграції 3D-кадастру передбачає також *мобілізацію фінансових і організаційних ресурсів*. Впровадження настільки масштабної новації навряд чи може бути здійснене виключно коштом державного бюджету.

Д. Кондратенко справедливо зауважує, що в сучасних умовах до процесу варто залучати великі приватні компанії, які зацікавлені у точності кадастрової інформації. Державна-приватна співпраця могла б стати дієвим механізмом: бізнес інвестує в створення 3D-кадастру (наприклад, фінансує сканування територій, розробку програмного забезпечення), а натомість отримує вигоду у вигляді доступу до якісних даних, що дозволяють уникнути конфліктів щодо землекористування. Великі забудовники, енергетичні компанії, оператори зв'язку тощо зацікавлені в тому, щоб 3D-кадастр запрацював, адже це зменшить ризики перетину комунікацій, накладення прав та судових спорів.

Таким чином, інтеграція 3D-кадастру – це не лише технічне завдання, а й управлінський проект, що вимагає координації між державою і бізнесом. Хоча дана ідея, на мою думку, утопічна, враховуючи воєнний стан в Україні, але в перспективі це може виявитись насправді робочим механізмом, де всі лишаться у виграші.

Підсумовуючи, новітній підхід до впровадження тривимірного кадастру в Україні полягає в одночасному рухові за декількома напрямками: оновлення законодавчої бази з урахуванням 3D, створення інтегрованої системи кадастру і реєстру прав, налагодження міжвідомчої взаємодії та обміну даними, залучення необхідних ресурсів (у тому числі приватних інвестицій). Такий комплексний підхід забезпечить поступове і ефективне входження 3D-кадастру до державної кадастрової системи, мінімізуючи можливі ризики і розбіжності між старою та новою системами.

3.4. Оцінка можливих економічних та управлінських ефектів від впровадження 3D-кадастру

Запровадження 3D-кадастру в Україні очікувано матиме значний позитивний ефект як в економічній, так і в управлінській сфері. Економічні ефекти проявляться через оптимізацію використання простору, зростання інвестиційної привабливості нерухомості та зниження витрат, пов'язаних з

вирішенням земельних спорів. Управлінські ефекти відобразатимуться у підвищенні ефективності планування і використання територій, покращенні якості ухвалення рішень органами влади та спрощенні процедур регулювання землекористування.

Одним із головних результатів впровадження 3D-кадастру стане більш повна та достовірна інформація про об'єкти нерухомості. Тривимірний облік забезпечить фіксацію всіх характеристик об'єкта – площі на землі, висоти/глибини, об'єму, зв'язків з іншими об'єктами. Ця інформація буде більш наочною і зрозумілою для користувачів.

Доступність якісних даних позитивно вплине на ринок нерухомості: учасники угод матимуть більше довіри до зареєстрованих прав, знизяться ризики прихованих дефектів у правовому статусі об'єктів. Це стимулюватиме інвестиції, оскільки прозорість і визначеність прав – ключова умова для вкладення коштів у будівництво та девелопмент. Крім того, реєстрація нерухомості та прав на неї у тривимірному вимірі дозволить оптимізувати використання простору. [57]

Фактично 3D-кадастр відкриває можливість юридично закріпити право на простір, який раніше важко було врахувати (наприклад, право на поверх у висотній будівлі або на рівень підземного паркінгу). Це означає, що такі просторові частини стануть повноправними об'єктами цивільного обороту – їх можна буде продавати, здавати в оренду, заставляти і т.д. Фактично, відбудеться «капіталізація» підземного і надземного простору: він набуде вартості на ринку, що є прямим економічним ефектом.

Наступний важливий ефект – зменшення кількості земельних конфліктів та спірних ситуацій. Коли кожен об'єкт та його межі в просторі належним чином зареєстровані, суттєво знижується ймовірність перекриття прав різних осіб. В сучасній практиці часто виникають спори, пов'язані з тим, що під об'єктом одного власника проходить комунікація, що належить іншому, або забудовник виходить за межі відведеної йому території у висоту чи глибину. 3D-кадастр дозволить на етапі проектування і реєстрації бачити всі такі потенційні конфлікти

та запобігати їм. За оцінками, великі компанії отримають значні переваги від запобігання виникненню конфліктів і суперечностей завдяки удосконаленим інформаційним системам. Менша кількість судових процесів щодо меж власності означає економію часу і коштів як для бізнесу, так і для держави. Органи влади також виграють, оскільки спори щодо землекористування часто стримують реалізацію інфраструктурних проектів, вимагають витрат на їх врегулювання. 3D-кадастр сприятиме більш стабільному і передбачуваному розвитку міських територій без затримок через правові колізії.

Економічний ефект проявиться і через оптимізацію міської забудови та інфраструктури. Маючи повну картину використання простору, міста зможуть ефективніше планувати нові об'єкти. Наприклад, знаючи точне розташування всіх підземних комунікацій у 3D, можна оптимально прокладати нові мережі, обираючи траєкторії, що не перетинаються з існуючими. *Це зменшить витрати на будівництво та ремонт, а також ризики аварій.* Аналогічно, маючи наочну тривимірну карту будівель, місто може краще визначати, де ще є простір для розвитку – можливо, над існуючими об'єктами можна додати новий рівень функціонального використання (наприклад, побудувати парковку над автострадою або торговий комплекс під площею). В результаті підвищується місткість та економічна віддача від міської території – на тій же площі землі можна розмістити більше корисних об'єктів без шкоди один для одного. Для громади це означає зростання надходжень (через податки, орендну плату за землекористування тощо) та покращення міської інфраструктури.

Управлінські ефекти від впровадження 3D-кадастру не менш вагомі. Передусім це покращення містобудівного планування та управління земельними ресурсами. Нова кадастрова інформація дозволить органам місцевого самоврядування приймати більш обґрунтовані рішення щодо розвитку територій. Планувальники матимуть у своєму розпорядженні тривимірні моделі, де видно, які об'єкти вже існують на різних рівнях, і де є резерви простору. Це особливо важливо для центрів великих міст, перевантажених інфраструктурою. 3D-кадастр надасть можливість аналізувати, наприклад, потенціал використання

підземного простору під парковки або тунелі, не побоюючись зачепити чийсь комунікації. Влада зможе моделювати різні сценарії розвитку (надбудова поверхів, риття підземних рівнів) і оцінювати їх наслідки ще до прийняття рішень, що робить управління більш проактивним і науково обґрунтованим.

Одним з важливих управлінських ефектів є підвищення безпеки та захищеності інфраструктури. Коли всі об'єкти інженерної інфраструктури (труби, кабелі, колектори) внесені до 3D-кадастру, екстрені служби або комунальні підприємства у разі аварій зможуть швидше локалізувати проблему та оцінити її взаємозв'язки з іншими об'єктами. Також легше буде проводити реконструкції – наприклад, знаючи точний тривимірний маршрут старого трубопроводу, прокласти поруч новий, не порушивши роботу діючих мереж. У результаті якість управління міським господарством зростає, що відчує кожен мешканець через надійніше функціонування комунікацій.

Узагальнюючи, впровадження 3D-кадастру матиме *комплексний позитивний ефект*. Економічно це проявиться у кращому використанні дорогого міського простору, зростанні інвестицій та мінімізації втрат від конфліктів. В управлінні – у більш продуманому розвитку міст, прозорості та підзвітності даних про землю, підвищенні безпеки і ефективності експлуатації інфраструктури.

Висновки до розділу 3.

1. Розвиток 3D-кадастру в Україні стримується відсутністю нормативно-правової бази, технічних стандартів і координації між відповідальними органами.
2. Поетапне впровадження 3D-моделювання доцільно здійснювати через гібридну систему: інтеграцію 3D-елементів у чинний кадастр із поступовим переходом до повноцінної моделі.

3. Зростання вартості міської землі та дефіцит простору формують економічні передумови для тривимірного обліку, що сприяє прозорій реєстрації прав на багаторівневі об'єкти та підвищенню інвестиційної привабливості. Реалізація запропонованих рішень потребує наявності технічної інфраструктури, фахових кадрів і міжвідомчої взаємодії.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз теоретичних основ та перспектив впровадження 3D-кадастру в Україні з урахуванням кращих світових практик, технічних можливостей та нормативно-правових передумов.
2. Завдяки аналізу теоретичних основ та наукових підходів сформовано цілісне уявлення про сутність тривимірного кадастру як інструменту управління простором, на підставі чого, уточнено термінологічну базу, визначено основні підходи до побудови 3D-кадастрових систем, обґрунтовано доцільність їх комплексного застосування, яке полягає в контексті гармонізації національного законодавства з міжнародними стандартами (LADM, ISO 19152, CityGML тощо).
3. Визначено, що реалізація тривимірного обліку потребує уніфікованих форматів просторових даних, ефективного програмного забезпечення та створення цифрової інфраструктури на рівні держави, що може бути досягнуто завдяки використанню сучасних технічних засобів, зокрема застосування ГІС, ВІМ-технологій, лазерного сканування тощо.
4. Доведено, що 3D-кадастр є ефективним інструментом для вирішення просторових конфліктів, підвищення прозорості прав власності, залучення інвестицій у складну міську інфраструктуру, а дефіцит міського простору визначено як ключовий економічний чинник актуальності впровадження тривимірного кадастру в Україні.
5. Сформульовано практичні рекомендації щодо поетапного впровадження 3D-кадастру: від включення окремих елементів у діючу систему до побудови гібридної моделі, що поєднує 2D- та 3D-дані, як інтеграційний чинник щодо оновлення даних та міжвідомчу координацію, а також уніфікацію нормативно-правової складової з Європейським середовищем для розробки стратегії поетапного впровадження 3D-кадастру в Україні.

На нашу думку, запропоновані підходи сприятимуть удосконаленню кадастрової системи, підвищенню прозорості реєстрації прав на нерухомість у тривимірному просторі, а також залученню інвестицій у сферу містобудування для поетапного відновлення нашої країни

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Stoter J. 3D Cadastre. TU Delft PhD Thesis. NCG, 2004. 326 p.
2. Paulsson J. Legal Aspects of 3D Property. Ph.D. Thesis. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2007. 361 p.
3. Oosterom P., Lemmen C. FIG 3D Cadastre Workshop Series. 2006-2020. 258 p.
4. Oosterom P., Stoter J., Lemmen C. Aspects of 4D Cadastre. 2006. 23 p.
5. Aien A. 3D Cadastral Data Modelling. University of Melbourne, 2013. 474 p.
6. Ghanem M., El-Gohary M., El-Diraby T. 3D Cadastre: A Review of Concepts, Approaches, and Challenges. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2021. pp. 12-23.
7. Lemmen Ch. ISO 19152: 2012, land administration domain model published by ISO. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.academia.edu/77789286/ISO_19152_2012_land_administration_domain_model_published_by_ISO.
8. CityGML. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html>.
9. Kolbe T. Representing and Modeling Complex 3D Urban Environments». Computers. *Environment and Urban Systems*. 2009. № 33(4). pp. 266-281.
10. Becerra P., Reyes R., Silva J. Legal Aspects of 3D Cadastre Systems. *Land Use Policy*. 2020. № 98. 104590.
11. Geospatial Data Act. U.S. Congress. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45348>.
12. Планування мережі зв'язку в містах Канади за допомогою 3D-карт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://visicomdata.com/uk/news/plan-your-network-in-any-city-in-canada-with-our-3d-city-maps>.
13. Standard on Geospatial Data. Government of Canada. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tbs-sct.canada.ca/pol/doc-eng.aspx?id=16553>.

14. Canada's Spatial Data Infrastructure (CSDI). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/ref/dict/az/definition-eng.cfm?ID=geo020>.
15. Canadian Geospatial Data Infrastructure Initiatives. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://natural-resources.canada.ca/science-data/science-research/geomatics/canada-spatial-data-infrastructure>.
16. Шейдик А., Ничвид М. Міжнародний досвід впровадження 3D-кадастру. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/9110>.
17. Zakon o geoinformacijama. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_123_2404.html.
18. Zakon o zemljišnim knjigama. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zakon.hr/z/103/Zakon-o-zemlji%C5%A1nim-knjigama>.
19. Geografisk Informasjonslov. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-08-08-797?q=Geografisk>.
20. Térképészeti törvény. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200046.tv>.
21. Ingatlan-nyilvántartási törvény. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700021.FM>.
22. Területrendezési törvény. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/hun65573.pdf>.
23. Oosterom P., Ploeger H., Stoter J. Analysis of 3D Property Situations in the USA. Proc. FIG Working Week, 2005. 17 p.
24. Goldschmidt L. Air Rights. Information Report No. 186. *American Society of Planning Officials (ASPO)*. Chicago, 1964. 75 p.
25. Foster L. 3D Cadastre Front and Center at 2024 IAAO Annual Conference. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esri.com/en-us/industries/blog/articles/3d-cadastre-front-and-center-at-2024-iaao-annual-conference/>.
26. Vučić N., Roić M., Markovinović D. Towards 3D and 4D Cadastre in Croatia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/277326839_Towards_3D_and_4D_Cadastral_in_Croatia.

27. Valstad T. Developments of the 3D Cadastre in Norway. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gdmc.nl/3dcadastre/literature/3Dcad_2006_03.pdf.
28. Swedish Mapping, Cadastral and Land Registration Authority. 3D Property Formation in Sweden – Legal Framework (Law in force from 2004). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fig.net/resources/proceedings/2011/2011_3dcadastre/3Dcad_2011_49.pdf.
29. Lov om egedomsregistrering (matrikkellova). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-101>.
30. Szabolcs M., Hungarian Base Map Data Standard, Technical Rules and Regulations. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fig.net/resources/proceedings/1999/hungary_1999_proc_comm3/mihaly_dat.PDF.
31. Гуйла І. Розвиток 3D-кадастру в Угорщині. *2-й Міжнародний воркшоп з 3D-кадастру*. Delft, 2011. С. 453-460.
32. Wu D., Soon K., Khoo V. Piloting 3D Cadastre in Singapore. *12th International FIG 3D Land Administration Workshop*, 2024. pp. 203-224.
33. Jeong D. A review of 3D cadastre pilot project and the policy of 3D NSDI in the Republic of Korea. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oicrf.org/-/a-review-of-3d-cadastre-pilot-project-and-the-policy-of-3d-nsdi-in-the-republic-of-korea>.
34. Gandolfi S. Application of 3D Cadastres as a Land Policy Tool. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lincolnst.edu/publications/articles/application-3d-cadastres-land-policy-tool>.
35. Sun J. Integration of BIM and 3D GIS for sustainable cadastre. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2022. 99 p.
36. Janečka K., Navratil G. Geospatial Data in Support of 3D Cadastre. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gim->

[international.com/content/article/geospatial-data-in-support-of-3d-cadastre-2#:~:text=Image%20%20Figure%201%3A%20Buildings,at%20the%20surface%20level](https://www.gim-international.com/content/article/geospatial-data-in-support-of-3d-cadastre-2#:~:text=Image%20%20Figure%201%3A%20Buildings,at%20the%20surface%20level).

37. Potsiou C. Foreword: Best Practices 3D Cadastres. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.fig.net/resources/publications/figpub/FIG_3DCad/FIG_3DCad-final.pdf.
38. Caragliu A., Del Bo C., Nijkamp P. Smart cities in Europe. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>.
39. Nam T., Pardo T. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>.
40. Hollands R. Will the real smart city please stand up? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/13604810802479126>.
41. Janečka K. Geospatial Data in Support of 3D Cadastre. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gim-international.com/content/article/geospatial-data-in-support-of-3d-cadastre-2>.
42. Що таке Smart city та як технології допомагають управляти містом у складні часи, інтерв'ю з Петром Оленичем. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fintechinsider.com.ua/shho-take-smart-city-ta-yak-tehnologiyi-dopomagayut-upravlyaty-mistom-u-skladni-chasy-intervyu-z-petrom-olenychem-zastupnykom-mera-ta-kerivnykom-czyfrovoyi-transformacziyi-kyyeva/>.
43. Єршова О., Бажан Л. Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація». *Статистика України*. 2020. № 8990 (2-3). С. 68-77.
44. Shahidinejad J., Kalantari M., Rajabifard A. 3D Cadastral Database Systems – A Systematic Literature Review. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mdpi.com/2220-9964/13/1/30#:~:text=suggested%20a%204D%2F5D%20schema%20by,11>.
45. Oosterom P., Stoter J. 5D Data Modelling: Full integration of 2D/3D space, time and scale dimensions. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://research.utwente.nl/en/publications/5d-data-modelling-full-integration-of-2d3d-space-time-and-scale-dim>.

46. Kim S., Kim J., Jung J., Heo J. Development of a 3D Underground Cadastral System with Indoor Mapping for As-Built BIM: The Case Study of Gangnam Subway Station in Korea. *Sensors*. 2015. № 15. 30870-30893.
47. Sun J., Paulsson J. Towards 3D Cadastral Level of Detail. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/370985557_Towards_3D_Cadastral_Level_of_Detail.
48. Built environment data standards and their integration: an analysis of IFC, CityGML and LandInfra. *OGC Document 19-091r1*. 2020. 16 p.
49. Aien A., Kalantari M., Rajabifard A., Williamson I., Bennett R. Advanced Principles of 3D Cadastral Data Modelling. *Proceedings of 2nd International Workshop on 3D Cadastres*, 16–18 November 2011. Delft, Netherlands, FIG, 2011. 20 p.
50. Duncan E., Rahman A. A Unified 3D Spatial Data Model for Surface and Subsurface Spatial Objects. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ajol.info/index.php/gm/article/view/90367>.
51. Erba D. Application of 3D Cadastres as a Land Policy Tool. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lincolnst.edu/publications/articles/application-3d-cadastres-land-policy-tool/>.
52. Ступень Н., Мельник М. Передумови виникнення 3D-кадастру в Україні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2022. Вип. 1(44). С. 11-15.
53. Закон України «Земельний кодекс» від 25.10.2001 № 2768-III. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
54. Кондратенко Д. Правові проблеми запровадження тривимірної облікової системи земель у сфері земельних відносин. *Науковий вісник*

Національного університету біоресурсів і природокористування України.
2015. Вип. 218. С. 137-145.

55. Попов А. Передумови створення 3D-кадастру в Україні. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2009. №51. С. 93-96.
56. Datsenko L., Titova S., Dubnytska M. 3D Cadastre as a Tool for Regulating Property Relations and a Spatial Information Base for Multipurpose Cadastral System. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2025. № 23. pp. 19-35.
57. Русіна Н., Люльчик В., Кийко Н., Кушнірук О., Рудько О. Щодо питання програмного забезпечення 3D кадастру нерухомості: зарубіжний досвід. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2020. Т. 31(70). № 4. С. 267-272.