

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

А. А. Євдокімов

**МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ
ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025**

Євдокімов А. А. Моделювання об'єктів нерухомості засобами геоінформаційних технологій : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / А. А. Євдокімов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 120 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. А. А. Євдокімов

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 16.08.2024

© А. А. Євдокімов, 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1 Використання різновидів моделей у системах відображення просторової інформації (управління міською інфраструктурою на новому рівні).....	6
Тема 2 Використання різновидів моделей у системах відображення просторової інформації (тривимірна міська геопросторова інформаційна система).....	14
Тема 3 Основні підходи до тривимірного моделювання.....	23
Тема 4 Моделювання об'єктів нерухомості промислового підприємства засобами геоінформаційних технологій.....	29
Тема 5 Розповсюджені підходи до створення тривимірних моделей міст.....	36
Тема 6 3D-моделювання та аналіз міського середовища.....	44
Тема 7 Використання тривимірного моделювання для збереження культурної спадщини.....	50
Тема 8 Застосування AutoCad Civil 3D та ArcGIS для аналізу і моделювання об'єктів інфраструктури.....	55
Тема 9 Створення та актуалізування геопросторових даних територіальної громади.....	59
Тема 10 Застосування SketchUp для моделювання об'єктів нерухомості з інтеграцією моделей у ArcGIS.....	65
Тема 11 Розробка і реалізація технологій 3D-моделювання складних архітектурних комплексів.....	71
Тема 12 Створення 3D-шарів у ArcGIS Reality for ArcGIS Pro.....	76
Тема 13 Інтеграція ГІС та BIM-технологій.....	82
Тема 14 Моделювання об'єктів нерухомості за допомогою ArcGIS GeoBIM.....	90
Тема 15 Нові ідеї створення цифрової реальності.....	98
Тема 16 Використання технології штучного інтелекту та 3D-картографії у моделюванні об'єктів нерухомості.....	108
Список рекомендованих джерел.....	116
Глосарій	118

ВСТУП

Геоінформаційні технології (ГІТ) відіграють важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи ефективні інструменти для аналізу, управління та візуалізації просторових даних. Однією з найбільш перспективних сфер їх застосування є моделювання об'єктів нерухомості. Ця дисципліна спрямована на розвиток у студентів знань і навичок використання ГІТ для вирішення завдань, пов'язаних із проєктуванням, управлінням і моніторингом об'єктів нерухомості та міської інфраструктури.

Актуальність дисципліни. Зі збільшенням чисельності міського населення зростає потреба у якісному плануванні, забудові та управлінні територіями. ГІТ забезпечують засоби для раціонального використання земельних ресурсів, прогнозування розвитку міських районів та оцінки екологічного впливу проєктів. Сучасні об'єкти нерухомості часто є складними системами, які містять не лише будівлі, але й транспортну, інженерну та соціальну інфраструктуру. Використання ГІС дозволяє інтегрувати інформацію з різних джерел для створення цілісних моделей. В умовах глобальних викликів, таких як зміна клімату та виснаження природних ресурсів, дисципліна допомагає вирішувати завдання сталого розвитку, зокрема через проєктування екологічно безпечних і енергоефективних об'єктів.

Основні завдання дисципліни: розвиток технічних навичок; робота з програмним забезпеченням для геоінформаційного аналізу, зокрема ArcGIS, QGIS та іншими платформами; використання 2D- і 3D-моделей для проєктування та управління об'єктами нерухомості; підготовка до вирішення практичних задач; моделювання сценаріїв розвитку територій; оптимізація використання ресурсів та інфраструктури; проведення комплексного аналізу для ухвалення об'єктивних рішень; розуміння нормативних і правових аспектів; ознайомлення зі стандартами, нормами та вимогами, що регулюють проєктування, будівництво та експлуатацію об'єктів нерухомості.

Після вивчення курсу здобувач повинен вміти використовувати сучасне програмне забезпечення для моделювання об'єктів нерухомості засобами геоінформаційних технологій, а також знати основні етапи і процеси зі створення складних об'єктів нерухомості у 2D- і 3D-форматі.

Дисципліна складається із трьох змістових модулів:

1. Змістовий модуль 1 Види моделювання об'єктів нерухомості.
2. Змістовий модуль 2 Методи та засоби ГІС-моделювання об'єктів нерухомості.
3. Змістовий модуль 3 Прикладні аспекти використання ГІС у моделюванні об'єктів нерухомості.

Конспект лекцій запропоновано для магістрантів спеціальності «Геодезія та землеустрій».

ТЕМА 1 ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОВИДІВ МОДЕЛЕЙ У СИСТЕМАХ ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

План

- 1.1 Актуальність використання ГІС.
- 1.2 Проблеми традиційного планування.
- 1.3 Роль моделей у відображенні інформації.
- 1.4 Моделі у геоінформаційних системах (ГІС).
- 1.5 Управління міською інфраструктурою.
- 1.6 Приклади застосування геоінформаційних технологій.

1.1 Актуальність використання ГІС

Актуальність використання геоінформаційних технологій для управління
міською інфраструктурою

У сучасному світі міста є основними центрами економічного, соціального та культурного розвитку. Зі зростанням урбанізації виникає необхідність ефективного управління міською інфраструктурою, яка містить транспорт, енергопостачання, водопостачання, забудову та багато інших аспектів. Геоінформаційні технології (ГІС) відіграють ключову роль у вирішенні цих завдань, надаючи інструменти для збирання, аналізу, візуалізації та управління просторовими даними.

ГІС дозволяють:

- виявляти проблемні зони в міському середовищі;
- оптимізувати використання ресурсів;
- розробляти сценарії розвитку територій на основі реальних даних;
- підтримувати ухвалення стратегічних рішень на всіх рівнях управління.

Використання ГІС підвищує точність і ефективність планування, дозволяє враховувати екологічні та соціальні фактори, а також забезпечує прозорість процесів для всіх зацікавлених сторін.

1.2 Проблеми традиційного планування

Традиційне планування міських територій часто базується на застарілих методах та підходах, які не враховують складність сучасного урбаністичного середовища. До основних проблем належать:

- **обмеженість даних:** нестача актуальної інформації про стан інфраструктури та навколишнього середовища;
- **фрагментарність підходів:** планування здійснюється окремо для кожного сектору без урахування взаємозв'язків між ними;
- **брак моделювання:** недостатня кількість інструментів для прогнозування наслідків ухвалених рішень;
- **низька гнучкість:** складність внесення змін до існуючих планів через бюрократичні або технічні обмеження;
- **ігнорування екологічних факторів:** недостатня увага до впливу забудови на навколишнє середовище.

Ці проблеми значно ускладнюють ефективне управління міською інфраструктурою, особливо в умовах швидкої урбанізації та зміни клімату. Інтеграція ГІС у процес планування дозволяє усунути ці недоліки завдяки доступу до актуальних даних та аналітичних інструментів.

1.3 Роль моделей у відображенні просторової інформації

Моделі є основою геоінформаційних систем, оскільки вони дозволяють зберігати, аналізувати та візуалізувати просторову інформацію. У контексті управління міською інфраструктурою моделі виконують кілька важливих функцій, а саме:

1. **Візуалізація:** моделі забезпечують наочне подання даних у вигляді карт, 3D-візуалізацій та схем. Це полегшує розуміння просторових взаємозв'язків і дозволяє ухвалювати більш обґрунтовані рішення.

2. **Аналіз:** за допомогою моделей можна проводити просторовий аналіз, виявляючи тенденції, закономірності та проблемні зони. Наприклад, моделі дозволяють оцінювати рівень забезпеченості населення інфраструктурними об'єктами.

3. **Прогнозування:** динамічні моделі дають змогу прогнозувати наслідки ухвалених рішень, зокрема вплив нових забудов на транспортну систему чи екологічну ситуацію.

4. **Сценарне моделювання:** різноманітні сценарії розвитку міської території можна прорахувати, враховуючи економічні, соціальні та екологічні фактори.

5. **Інтеграція:** моделі є основою для об'єднання даних із різних джерел, забезпечуючи комплексний підхід до управління.

Управління міською інфраструктурою на основі моделей дозволяє враховувати багатофакторність процесів, скорочувати витрати та підвищувати якість послуг для населення.

1.4 Моделі у геоінформаційних системах (ГІС)

Типи моделей

Графічні моделі (карти, схеми). Графічні моделі є основою більшості ГІС-додатків. Вони містять карти, схеми та плани, які відображають об'єкти на площині із зазначенням їхнього географічного положення. Графічні моделі використовуються для візуалізації даних, аналізу просторових зв'язків і ухвалення рішень у містобудівному плануванні.

Атрибутивні моделі (дані про об'єкти). Атрибутивні моделі зберігають інформацію про властивості об'єктів, зображених на графічних моделях. Наприклад, для будівлі це може бути її висота, площа, рік побудови та функціональне призначення. Ці моделі забезпечують деталізовану інформацію для аналізу і моделювання.

3D-моделі (моделювання об'єктів нерухомості, містобудівні сценарії).

3D-моделі дозволяють створювати тривимірні зображення об'єктів і територій, які надають можливість детально аналізувати об'єкти нерухомості, інженерні мережі, рельєф місцевості тощо. Вони широко використовуються у проєктуванні, моделюванні забудови та оцінці впливу на довкілля.

Динамічні моделі (симуляція розвитку міських територій). Динамічні моделі імітують зміни у просторі та часі. Вони застосовуються для прогнозування розвитку територій, моделювання транспортних потоків, симуляції екологічних змін та інших процесів. Ці моделі забезпечують можливість оцінити наслідки планувальних рішень ще до їх впровадження.

Інтеграція моделей

Поєднання 2D- та 3D-моделей для детального аналізу. Інтеграція двовимірних і тривимірних моделей дозволяє об'єднати переваги кожного типу для більш комплексного аналізу. Наприклад, 2D-карти використовуються для виявлення загальних тенденцій, тоді як 3D-моделі дозволяють оцінити вплив забудови на ландшафт і міське середовище.

Використання BIM-технологій у взаємодії з ГІС. Інформаційне моделювання будівель (BIM) надає детальні моделі будівельних об'єктів, які можуть бути інтегровані з ГІС для отримання повної картини територіального розвитку. Це дозволяє оптимізувати проєктування, будівництво та експлуатацію інфраструктурних об'єктів, забезпечуючи їх відповідність екологічним і соціальним стандартам.

1.5 Управління міською інфраструктурою

Планування розвитку території

Аналіз існуючих даних про забудову, інженерні мережі, транспорт. Використання ГІС для збирання й аналізу даних про наявну забудову, інженерні комунікації та транспортну інфраструктуру є першим етапом планування. Цей аналіз дозволяє виявити вузькі місця, оцінити рівень

навантаження на інфраструктуру та виявити потенційні можливості для розвитку.

Врахування соціальних, економічних та екологічних факторів. ГІС дає змогу оцінити вплив соціальних (щільність населення, доступність об'єктів соціальної інфраструктури), економічних (вартість забудови, транспортні витрати) та екологічних (збереження природних зон, рівень забруднення) факторів на процес планування. Це забезпечує комплексний підхід до розвитку територій.

Розробка концепції забудови

Генерація сценаріїв розвитку на основі моделей. Застосування моделей для створення кількох варіантів розвитку територій дозволяє обрати оптимальний сценарій. Наприклад, можна порівнювати варіанти щільної забудови, збалансованого розвитку або створення рекреаційних зон.

Оцінка впливу проєктів на навколишнє середовище. За допомогою ГІС можна оцінити вплив запланованих проєктів на екологічний стан території, включно зі змінами в рівні забруднення, втратою зелених зон або зростанням шумового навантаження.

Переваги використання ГІС

Автоматизація процесів ухвалення рішень. ГІС дозволяє автоматизувати багато рутинних завдань, таких як розрахунок площ, аналіз транспортної доступності або прогнозування потреб у ресурсах.

Прогнозування змін у міській інфраструктурі. Використання моделей дозволяє спрогнозувати наслідки ухвалених рішень, наприклад, вплив нового житлового комплексу на транспортну систему чи соціальну інфраструктуру.

Ефективне використання ресурсів. ГІС сприяє оптимізації використання земельних, фінансових та людських ресурсів, мінімізуючи витрати та максимізуючи ефективність реалізації проєктів.

1.6 Приклади застосування геоінформаційних технологій

Використання ГІС для оптимізації транспортних потоків

Оптимізація транспортних потоків є однією з ключових сфер застосування геоінформаційних систем (ГІС). Використання ГІС у цьому контексті дозволяє:

1. Аналізувати існуючі транспортні потоки:

- виявлення перевантажених ділянок доріг;
- оцінка щільності транспортного руху у різний час доби;
- моніторинг змін у трафіку через події (ремонт, аварії тощо).

2. Розробляти сценарії покращення:

- моделювання нових маршрутів громадського транспорту;
- планування розташування нових доріг чи транспортних розв'язок;
- визначення оптимальних локацій для пішохідних зон або велосипедних доріжок.

3. Прогнозувати наслідки транспортних змін:

- вплив відкриття нових доріг чи закриття існуючих;
- оцінку екологічного ефекту від зменшення заторів;
- аналіз економічної ефективності запропонованих змін.

Завдяки ГІС можливо інтегрувати просторові дані з результатами соціологічних досліджень, даними про мобільність населення, що сприяє більш ефективному плануванню.

Моделювання розташування нових житлових районів

Застосування ГІС у плануванні житлових районів забезпечує комплексний підхід до розвитку міської території. Основні етапи:

1. Оцінка придатності території:

- аналіз рельєфу, гідрографії, інженерних мереж;
- визначення зон ризику (зсуви, затоплення, техногенні небезпеки).

2. Врахування соціальних і економічних аспектів:

- розрахунок потенційної щільності забудови;
- планування доступності до шкіл, лікарень, громадського транспорту;
- аналіз вартості землі для визначення фінансової доцільності.

3. Розробка кількох варіантів забудови:

- інтеграція 3D-моделей для візуалізації забудови;
- моделювання інфраструктури (дорожньої, інженерної);
- оцінка екологічного впливу нової забудови.

ГІС дозволяють ефективно керувати усіма етапами планування, що значно скорочує витрати часу і ресурсів.

Планування зон рекреації у міському середовищі

Рекреаційні зони відіграють важливу роль у покращенні якості життя населення, і ГІС є важливим інструментом для їхнього планування.

1. Аналіз існуючої рекреаційної інфраструктури:

- інвентаризація парків, скверів, зон відпочинку;
- виявлення зон із недостатньою кількістю рекреаційних об'єктів.

2. Вибір місць для нових зон відпочинку:

- аналіз доступності територій для населення;
- визначення зон із екологічно чистим середовищем;
- врахування демографічних показників і потреб громади.

3. Моделювання дизайну рекреаційних зон:

- розробка ландшафтних проєктів із використанням 3D-моделей;
- планування пішохідних маршрутів, зон для спорту, ігор та відпочинку;
- оцінка екологічного впливу на прилеглі території.

Використання ГІС у плануванні зон рекреації забезпечує їхнє оптимальне розташування, що відповідає потребам громади та сприяє сталому розвитку міських територій.

Контрольні запитання

1. Які типи моделей використовуються у геоінформаційних системах?
2. У чому полягає перевага використання 3D-моделей у ГІС?
3. Як ГІС сприяють оптимізації управління міською інфраструктурою?
4. Які фактори враховуються під час планування розвитку території?
5. Наведіть приклади застосування ГІС у плануванні міської забудови.

ТЕМА 2 ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОВИДІВ МОДЕЛЕЙ У СИСТЕМАХ ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ (ТРИВИМІРНА МІСЬКА ГЕОПРОСТОРОВА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА)

План

- 2.1 Тривимірна міська геопросторова інформаційна система. Загальні терміни.
- 2.2 Основні функції та можливості тривимірних ГІС.
- 2.3 Скріплення двовимірних даних, тривимірних даних і тривимірної інженерної документації.
- 2.4 Сучасні тенденції застосування 3D-технологій у ГІС.

2.1 Тривимірна міська геопросторова інформаційна система.

Загальні терміни

Загальні визначення

Тривимірна геопросторова інформаційна система міста (англ. *3D Urban Geospatial Information System*) – це цифрове середовище, яке об'єднує геометричні, просторові та семантичні дані об'єктів міської інфраструктури з урахуванням їхнього просторового розташування у тривимірному просторі.

Тривимірна вказує на необхідність врахування реальної об'ємності об'єктів. Оскільки навколишній світ є тривимірним, то і цифрова модель повинна містити повноцінну **3D-геометрію** – висоту, ширину і глибину об'єктів. Така геометрія описується за допомогою **твердотільних моделей, мультипатч-об'єктів (multipatch features)** або **параметричних поверхонь**.

Прикметник «міська» підкреслює, що система охоплює **урбанізовані простори** – від локальних територій (університетських кампусів, парків чи окремих будівель) до великих міських районів і транспортно-інженерної

інфраструктури. Це забезпечує **масштабованість** і дозволяє працювати як з окремими об'єктами, так і з цілими урбаністичними середовищами.

Прикметник «геопросторова» означає, що всі елементи системи мають **географічну прив'язку** – координати, які дозволяють інтегрувати їх у глобальні чи локальні системи координат (напр., WGS84, UTM). Геопросторовість передбачає використання **геоінформаційних технологій (ГІТ)** для просторового аналізу, моделювання та візуалізації.

Прикметник «інформаційна» вказує на наявність не лише геометрії, а й **семантичного наповнення**: властивостей, технічних характеристик, історії об'єкта, пов'язаних документів, інженерних даних тощо. Тривимірна модель повинна підтримувати **запити до бази знань, просторові зв'язки, класифікацію об'єктів** за функціями та взаємодіями з іншими елементами інфраструктури.

Поняття «система» підкреслює організованість і функціональність. Така система має передбачати:

- централізоване або розподілене керування даними;
- рольове керування доступом для користувачів;
- підтримку сценаріїв колективної роботи;
- інтероперабельність – взаємодію з іншими системами через відкриті формати (CityGML, IFC, GeoJSON, GPKG).

Додаткові терміни:

- **BIM (Building Information Modeling)** – цифрове моделювання характеристик будівель, часто використовується разом з ГІС у міському моделюванні;
- **LOD (Level of Detail)** – рівень деталізації об'єкта (наприклад, LOD1 – блоки будівель, LOD3 – з фасадними деталями);
- **3D Scene** – тривимірна сцена або середовище візуалізації у ГІС-програмному забезпеченні (ArcGIS Pro, CesiumJS, Skyline тощо);
- **CityGML** – відкритий стандарт для збереження та обміну 3D-моделями міста;

– **Geodesign** – концепція інтегрованого проєктування із врахуванням геопросторового аналізу.

– **Digital Twin (цифровий двійник)** – точна цифрова копія фізичного об'єкта або системи, що дозволяє моделювати і прогнозувати зміни.

2.2 Основні функції та можливості тривимірних ГІС

Двовимірне зображення не здатне повноцінно передати уявлення про об'єкт на відміну від тривимірної моделі. Вбудовані 3D-модулі у складі геоінформаційних систем дають змогу створювати об'єкти будь-якої складності в умовах віртуального простору: будівлі, транспортну інфраструктуру, зелені насадження, транспортні засоби тощо. Таке моделювання дозволяє точніше відобразити реальну місцевість та розташування об'єктів у просторі.

Важливою відмінністю 3D-ГІС від інтерактивних симуляторів є географічна прив'язка кожного об'єкта. У ГІС усі тривимірні об'єкти мають координати на місцевості. Кожен з них можна вибрати, дослідити, порівняти з іншими, пов'язати з базами даних – і таких об'єктів може бути необмежена кількість. Попри зовнішню подібність із візуальними ефектами ігор 3D-ГІС має глибший функціональний зміст і аналітичне призначення.

Тривимірне моделювання використовується для реалістичного відтворення територій із урахуванням рельєфу. Воно ефективно застосовується у проєктуванні, плануванні, а також може слугувати альтернативою макетуванню – наприклад, для створення моделі розміщення будівель чи доріг на базі цифрових карт.

На відміну від 2D-зображень 3D-моделі формуються шляхом побудови геометричних проєкцій на площину за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Подання основних функцій і можливостей тривимірних програм

Обробка просторових даних у 3D-ГІС

Тривимірні ГІС мають підтримувати автоматизовану обробку різноманітних типів просторових даних (рис. 2.2):

- векторні карти й плани у різних проєкціях і системах координат, зокрема, морські, навігаційні, радіонавігаційні;
- дані дистанційного зондування Землі, зокрема супутникові знімки;
- мультиспектральні зображення, результати лазерного сканування, ехолокаційні дані;
- цифрові моделі рельєфу у вигляді матриць висот або трикутних нерегулярних сіток (TIN), матриць покриття;
- тривимірні моделі.



Рисунок 2.2 – Види даних, що обробляються у тривимірних ГІС

Переваги 3D-графіки у геоінформаційних системах:

- наочне та глибоке відображення рельєфу;
- можливість перегляду з будь-якої точки й під будь-яким кутом;
- завантаження детальних 3D-моделей будівель для аналізу планування.

Складнощі під час використання 3D-ГІС:

- необхідність формування бібліотеки тривимірних моделей;
- висока потреба в обчислювальних ресурсах комп'ютера;
- недостатня підтримка 3D-візуалізації в багатьох сучасних ГІС.

2.3 Скріплення двовимірних даних, тривимірних даних і тривимірної інженерної документації

Одним із ключових завдань сучасних геоінформаційних систем (ГІС) є інтеграція різномірних даних для створення повноцінної та функціональної моделі міського середовища. У цьому контексті використовуються:

1. Двовимірні дані (2D):

- карти, плани, аерофотознімки;
- просторові аналізи площ, лінійних об'єктів і точкових елементів;
- базові дані для побудови тривимірних моделей.

2. Тривимірні дані (3D):

- об'ємні моделі будівель і споруд;
- цифрові моделі рельєфу (ЦМР);
- ландшафтні моделі та природні об'єкти.

3. Тривимірна інженерна документація:

- проєкти будівництва;
- технічні креслення інженерних мереж (водопостачання, каналізації, електрики);
- деталізовані схеми конструкцій.

Інтеграція цих даних дозволяє створювати комплексні моделі, які можуть бути використані для аналізу, планування, проєктування та управління міськими територіями.

Компоненти тривимірної міської ГІС

Тривимірна міська геоінформаційна система складається з таких основних компонентів:

1. Дані:

- геометричні: моделі будівель, споруд, ландшафту;
- атрибутивні: інформація про об'єкти (матеріали, призначення, власники);
- тематичні: транспорт, демографія, екологія.

2. Програмне забезпечення:

- інструменти для моделювання (AutoCAD, Revit, SketchUp);
- платформи ГІС (ArcGIS Pro, QGIS, CityEngine);
- візуалізація у реальному часі (Unity, Unreal Engine).

3. Технологічна інфраструктура:

- сервери для зберігання даних;
- хмарні сервіси для віддаленого доступу;
- інтеграція із BIM (Building Information Modeling).

4. Користувачі:

- планувальники міської забудови;
- інженери та архітектори;
- органи місцевого самоврядування.

Зберігання, управління і використання міської 3D-ГІС

1. Зберігання:

- бази даних: просторові бази даних (PostGIS, Oracle Spatial) забезпечують надійне зберігання великого обсягу даних;

- формати файлів: використання стандартів (CityGML, IFC, 3D Tiles) для сумісності між платформами.

2. Управління:

- інтеграція 3D-моделей з іншими даними через API;
- організація доступу до даних для різних груп користувачів;
- автоматизація оновлення моделей через регулярний моніторинг (дрони, супутники).

3. Використання:

- планування: аналіз забудови, оптимізація інфраструктури;
- моніторинг: відстеження стану інженерних мереж, оцінка пошкоджень;
- візуалізація: презентація проєктів, сценарії розвитку територій.

Тривимірна міська ГІС є інструментом, який дозволяє поєднувати багат шарові дані в єдиній моделі, що забезпечує кращу координацію між зацікавленими сторонами та ухвалення об'єктивних рішень для сталого розвитку міських територій.

2.4 Сучасні тенденції застосування 3D-технологій у ГІС

Нині геоінформаційні технології використовуються в різних сферах діяльності, однак більшість систем досі залишаються двовимірними. Із розвитком технологій 3D-моделювання все більш очевидними стають обмеження 2D-ГІС:

- неможливість реалістично візуалізувати проєктні об'єкти в об'ємному середовищі;
- обмеження просторового аналізу з різних точок зору;
- складності під час роботи з накладеними об'єктами;
- ускладнене створення й редагування альтернативних планувальних варіантів.

Ці обмеження призводять до втрат часу та фінансових витрат під час узгодження проєктів.

Використання тривимірної моделі дозволяє:

- створювати об'ємні візуалізації ландшафтів і міської інфраструктури;
- готувати декілька варіантів проєктів із фотореалістичним поданням;
- планувати розвиток територій у режимі реального часу;
- проводити ландшафтний та просторовий аналіз взаємодії об'єктів;
- презентувати результати у зручній, наочній формі.

Перехід до 3D-ГІС відкриває нові можливості для архітекторів, інженерів, містобудівників та органів управління:

- створення тривимірної візуалізації ландшафту територій, містобудівного оточення та інфраструктури в масштабах сотень кілометрів;
- всебічне подання проєкту, включно із можливістю підготовки декількох варіантів проєкту і його фотореалістичної візуалізації в тривимірному вигляді;
- планування розвитку територій, ескізне опрацювання різних варіантів розвитку території в режимі реального часу;
- проведення ландшафтного аналізу, оцінки висотних характеристик об'єктів і взаємодії об'єктів один з одним і з навколишнім середовищем;
- аналіз просторових даних в обсязі і подання результатів аналізу в зручному для сприйняття вигляді;
- створення якісних презентаційних матеріалів і відеороликів.

Таким чином, тривимірні ГІС ефективні для застосування в різних сферах діяльності людини. Тому наразі однією з основних тенденцій світового ринку у сфері проєктування є перехід від двовимірного до тривимірного моделювання, а також впровадження сучасних тривимірних геоінформаційних систем.

Контрольні запитання

1. Які типи даних інтегруються у тривимірній міській ГІС, і які їхні особливості?
2. Назвіть основні компоненти тривимірної міської ГІС та їхні функції.
3. Які переваги дає використання стандартів (CityGML, IFC, 3D Tiles) для зберігання даних?
4. Як здійснюється управління та оновлення моделей у тривимірній міській ГІС?
5. Які інструменти використовуються для візуалізації у реальному часі у тривимірних міських ГІС?

ТЕМА 3 ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

План

3.1 Полігональне моделювання.

3.2 Сплайнове моделювання.

3.3 NURBS-моделювання.

3.4 3D-скульптинг.

3.5 Промислове моделювання.

Сучасні міські геопросторові інформаційні системи (ГІС) є ключовим інструментом управління міським середовищем, планування територій та аналізу просторових даних. Вони забезпечують збирання, зберігання, аналіз та візуалізацію географічної інформації, що дозволяє ухвалювати обґрунтовані рішення в міському управлінні, будівництві, екологічному моніторингу та транспортному плануванні. Завдяки ГІС можна інтегрувати різні набори даних – кадастрові, демографічні, екологічні, інфраструктурні – для створення комплексного бачення стану міської території.

Одним із найбільш значущих напрямів розвитку міських ГІС є впровадження тривимірного моделювання (3D-ГІС). Вони дозволяють не лише відображати місто у форматі 3D, а й аналізувати взаємодію об'єктів, прогнозувати зміни та візуалізувати альтернативні сценарії розвитку міста. 3D-ГІС надають можливість точного геопросторового аналізу, що особливо важливо для моделювання забудови, оптимізації транспортної інфраструктури та оцінки впливу різних факторів на міське середовище. Завдяки використанню цифрових двійників міста, поєднаних із реальними даними, 3D-ГІС сприяють підвищенню ефективності управління територіями та зменшенню витрат на інженерно-будівельні роботи.

3.1 Полігональне моделювання

Полігональне моделювання – це метод моделювання об’єктів у 3D, суть якого полягає в тому, щоб формувати криволінійну поверхню і нерівності за допомогою великої кількості полігонів – багатокутних геометричних елементів. Полігони створюють у вигляді сітки, яка утворює оболонку створюваної моделі. Чим більше використовується полігонів, тим точніше передається структура поверхні об’єкта.

За точністю полігональне моделювання поділяється на:

- низькополігональне моделювання, що призначене для створення об’єктів із невеликою кількістю полігонів (для економії ресурсів ПК, коли потрібна висока деталізація);
- середньополігональне моделювання, що орієнтоване лише на необхідний результат у разі рендерингу (над полігональною сіткою ніяких робіт з її оптимізації не роблять, або вони мінімальні);
- високополігональне моделювання є створенням об’єкта з великою кількістю полігонів – точної його копії.

Стандартна схема високополігонального моделювання відбувається з поступовим збільшенням рівня деталізації 3D-об’єкта:

- перший рівень є базовим, і є загальною формою об’єкта;
- другий рівень (на другому рівні відбувається уточнення базової форми, зазвичай, шляхом додавання фасок);
- третій – завершальний, тобто на ньому проводиться чітка деталізація об’єкта, зазвичай шляхом застосування плагінів згладжування.

3.2 Сплайнове моделювання

Сплайнове моделювання – це створення 3D-об’єктів за допомогою кривих ліній (сплайнів). Об’єкти виходять плавної форми. Цей метод отримав широке застосування у створенні органічних моделей.

Перевага цього методу у гнучкості зміни форми сплайна. Зі збільшенням об'єкта, створеного сплайнами, його якість залишиться незмінною, а у разі полігонального моделювання буде видно полігони.

Лінії сплайнів задаються тривимірним набором контрольних точок у просторі, які визначають гладкість кривої. Сплайнове моделювання використовує сплайнові примітиви. Перевага сплайнових об'єктів у тому, що вони мають гнучкі налаштування, тому завжди можна повернутися до зміни їх форми.

Під час сплайнового моделювання форма глечика описується безліччю кривих по екватору кулі. Криві перетинаються між собою та формують полігони на поверхні глечика. Виріб із 260-ма полігонами має ступінь деталізації 35 градусів, із 520-ма полігонами – 25 градусів, із 1 280-ма полігонами – 10 градусів між гранями.

3.3 NURBS-моделювання

Розробка NURBS-об'єктів почалася у 1950-х роках інженерами, яким було поставлене завдання математично точно подати поверхню довільної форми (корпус корабля, літак, космічний апарат, автомобіль). Піонерами були французи П'єр Безьє, інженер із компанії Рено, та Поль де Кастельжо, співробітник компанії Сітроен. Спочатку NURBS використовувалися лише у комерційних CAD-системах для автомобільних компаній. Пізніше вони стали важливою частиною стандартних програмних пакетів для комп'ютерної графіки – Maya, 3ds Max, AutoCAD.

NURBS – Non-Uniform Rational B-Spline (Неоднорідні Раціональні В-Сплайни). Технологія створення 3D-об'єктів за допомогою спеціальних кривих, які називають В-сплайнами. Такі криві є окремим випадком кривих Безьє (формули, якими можна виразити криві та поверхні). Принцип моделювання полягає в наступному: за допомогою В-сплайнів, розташованих

по вертикалі та горизонталі, будується потрібна форма об'єкта, а потім все це з'єднується за допомогою полігонів. Елементами сплайнів є:

- P-криві (Point), форму яких можна змінювати за допомогою вершин, які розташовані безпосередньо на самій лінії;
- CV-криві (Control Vertex), форму яких можна змінювати за допомогою вершин, що розташовані за межами лінії.

Point-криві керуються вершинами, що знаходяться безпосередньо на самій лінії або об'єкті, а Control Vertex-криві керуються точками, що лежать за межами лінії або об'єкта.

3.4 3D-скульптинг

3D-скульптура – це технологія моделювання, що набирає обертів у наші часи. Вона дозволяє створювати моделі з високим рівнем деталізації. Завдяки цьому 3D-скульптинг стає найкращою технологією для отримання реалістичних сцен і моделей.

Імітація процесу «ліплення» 3D-моделі – це деформування полігональної сітки спеціальними інструментами – пензлями. Можна провести аналогію з ліпленням фігур руками із пластиліну чи глини. Тільки в програмах 3D-моделювання пальці замінені на інструмент – пензель, а «пластиліном» є полігональна сітка.

У більшості інструментів для моделювання цифрової скульптури застосовується деформація поверхні полігональної моделі, завдяки чому її можна зробити опуклою або увігнутою. Інструменти працюють за принципом воксельної геометрії, об'ємність яких залежить від піксельного зображення, що використовується. Піксель – найдрібніший елемент двовимірного простору, розподіленого дискретно на безліч рівних частин. Воксель – найдрібніший елемент тривимірного дискретного простору, де всі елементи мають однаковий розмір. Утворений зі слів об'ємний (англ. volumetric) та піксель (англ. pixel) воксель – це елемент об'ємного зображення, що містить значення елемента

растру у тривимірному просторі. Воксели є аналогами двовимірних пікселів для тривимірного простору.

На сьогодні програми для цифрової скульптури часто використовують для покращення та ускладнення зовнішнього вигляду низькополігональних моделей, що використовуються у комп'ютерних та відеоіграх, за рахунок створення різноманітних карт нерівностей. Поєднуючи грубі 3D-моделі з текстурними картами, картами нормалей та заміщення, можна значно покращити зовнішній вигляд ігрових персонажів. Такі програми як 3Ds Max, Maya і Modo містять деякі елементи і прийоми роботи з моделлю, схожі на інструменти у програмах для цифрової скульптури, але значно поступаються останнім. Іншими програмами цього виду моделювання є ZBrush, Sculptris, Autodesk Mudbox.

3.5 Промислове моделювання

Системи Автоматизованого Проектування (САПР) CAD (Computer-Aided Design) застосовують для створення 3D-моделей насамперед промислового призначення. Вони існують для створення точних копій реальних об'єктів. Враховуються не тільки найменші деталі, але й властивості матеріалу об'єкта, що моделюється, тому цей вид моделювання широко застосовується в інженерній справі. Особливість цього моделювання в тому, що для створення моделі використовують не полігони, а цілісні форми. Промислове моделювання можна розділити на такі види: твердотільне та поверхневе.

Суть твердотільного моделювання полягає в тому, що під час побудови моделі працюють відразу з усією оболонкою, а не з окремими поверхнями. Спочатку створюється проста форма оболонки (сфера) а потім до неї застосовують різні операції: різання, поєднання з іншими тілами, булеві операції тощо. Цей метод підходить для створення твердих 3D-моделей нескладної форми (шестерня, двигун), але не застосовується у створенні м'яких форм (зім'ятого одягу, тварин).

Поверхнєве моделювання зазвичай використовується для створення поверхонь складних форм: автомобілів, літаків. Модель будується з різних поверхонь, яким надають потрібної форми, з'єднують плавними переходами, а потім обрізають зайве. Таким чином, форма потрібної оболонки об'єкта збирається з кількох поверхонь.

Також існує такий вид моделювання як параметричне моделювання. Він здійснюється шляхом введення необхідних параметрів елементів моделі, а також співвідношень між ними. Іншими словами створюється математична модель з потрібними параметрами, змінюючи які можна створити різні комбінації моделі і цим уникнути помилок, додавши необхідні коригування. Прикладами програм для промислового моделювання є: «Compas-3D», «SolidWorks», «Solid Edge» «Autodesk Inventor».

Контрольні запитання

1. У чому полягає відмінність між «Compas-3D» та «Autodesk Inventor»?
2. Які вхідні дані необхідні для створення 3D-шарів у «Solid Edge»?
3. Як ортофотозображення «SolidWorks» відрізняється від звичайного?
4. Чим системи автоматизованого проєктування (САПР) CAD (Computer-Aided Design) відрізняються від ГІС?

ТЕМА 4 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

План

4.1 Поняття об'єктів нерухомості промислового підприємства.

4.2 Нормативна база щодо моделювання об'єктів нерухомості промислового підприємства.

4.3 Розробка структури моделі промислового підприємства засобами програмного забезпечення ArcGIS.

4.4 Створення 3D-моделі промислових об'єктів у ArcGIS.

4.1 Поняття об'єктів нерухомості промислового підприємства

Визначення промислової нерухомості

Промислова нерухомість містить об'єкти, які використовуються для виробничих процесів, зберігання товарів, а також для інших цілей, пов'язаних із промисловістю і логістикою. Цей тип нерухомості має стратегічне значення для економіки, оскільки забезпечує матеріальну базу для роботи виробничих та логістичних компаній.

Різновиди промислової нерухомості

Промислова нерухомість ділиться на кілька категорій, включно з виробничими підприємствами, складами, логістичними центрами, технопарками та іншими об'єктами, пов'язаними з промисловою діяльністю. Кожен із цих типів має свої особливості та вимоги, що впливає на вибір відповідного об'єкта для інвестицій чи експлуатації.

Також до об'єктів нерухомості промислового підприємства, окрім цехів та інших споруд, належать об'єкти інженерного забезпечення, без яких функціонування підприємств не є можливим, а саме:

– водопостачання;

- водовідведення;
- теплопостачання;
- газопостачання;
- енергозабезпечення;
- електроосвітлення;
- комунікаційні об'єкти тощо.

4.2 Нормативна база щодо моделювання об'єктів нерухомості промислового підприємства

Нормативна база щодо моделювання об'єктів нерухомості промислового підприємства складається з декількох елементів, насамперед із Законів України:

1. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (2020) регламентує створення, використання та обмін геопросторовими даними в Україні.

2. Закон України «Про Державний земельний кадастр» (зі змінами) встановлює вимоги до просторових даних, зокрема щодо нерухомості та її меж.

3. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» визначає засади просторового планування, зокрема на промислових територіях.

4. Постанова КМУ № 835 від 21.10.2015 (у редакції 2021 року) – Про затвердження Порядку ведення державних електронних інформаційних ресурсів, що використовуються в системі НІГД.

5. Наказ Мінрегіону № 75 від 22.04.2020 – Методика наповнення геопорталу НІГД визначає правила створення геопросторових даних на місцевому рівні, зокрема для підприємств.

Також регулювання відбувається за будівельними нормами і стандартами (ДБН, ДСТУ):

1. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій – актуальний замінник ДБН 360-92**, містить регламент для промислових територій.

2. ДСТУ ISO 19115-1:2020 Географічна інформація – метадані встановлює правила створення метаданих для просторових даних.

3. ДСТУ ISO 19157:2022 Географічна інформація – якість даних містить вимоги до оцінки якості геоданих, що використовуються у моделюванні.

4. ДСТУ В А.2.4-4:2015 Склад та зміст проектної документації на будівництво регламентує етапи створення об'єктів, включно із моделюванням.

У міжнародному масштабі такі роботи регулюються такими документами:

- ISO 19650 (частини 1–5) – міжнародний стандарт управління інформацією у процесі життєвого циклу будівель і споруд на основі BIM;
- OGC (Open Geospatial Consortium) стандарти: CityGML, GML, WMS, WFS, GeoPackage існують для обміну та моделювання просторових об'єктів;
- INSPIRE Directive (ЄС, 2007/2/EC): хоча Україна не є членом ЄС, структура INSPIRE використовується як зразок для створення НІГД.

4.3 Розробка структури моделі промислового підприємства засобами програмного забезпечення ArcGIS

Задачі моделювання інженерного забезпечення

Під час моделювання інженерного забезпечення підприємства потрібно здійснити:

- аналіз існуючих інформаційних технологій для управління інженерними мережами;
- моделювання зовнішніх інженерних мереж;
- просторовий аналіз створених моделей інженерних мереж;
- використання розробленої моделі для розв'язування задач інженерних мереж.

Вихідні дані та інструменти роботи

Серед вихідних даних для розробки моделі інженерного забезпечення підприємства використовувалися топографічні плани масштабу 1 : 500, космічні знімки території моделювання, креслення колодязів та труб.

Для створення моделі використовується програмний засіб ArcGIS, зокрема модулі ArcGIS NetworkAnalyst, ArcGIS Schematics, ArcScene, ArcGIS 3D Analyst.

Моделювання формується у просторі ArcGIS як база геоданих, яка містить різні набори класів просторових об'єктів, що відображають певні елементи інженерного забезпечення підприємства. Набори класів об'єктів містять вже окремі класи, тобто безпосередньо шари з об'єктами інженерних мереж.

Згідно з зібраними даними об'єкти інженерного забезпечення векторизуються в середовищі програми, де їм надається відповідна форма, колір, атрибутивні дані. Атрибутивні дані відрізняються для різних типів об'єктів нерухомості, у таблиці 4.1 наведена структура атрибутивної інформації, яку містять шари зі спорудами.

Моделювання інженерної інфраструктури (трубопроводи, ЛЕП, дороги) у межах підприємства

Поетапно процес побудови геометричної мережі у програмному забезпеченні виглядає так:

1. У дереві ArcCatalog обираємо клас просторового об'єкта.
2. Обираємо набір просторових об'єктів та даємо йому ім'я.
3. Обираємо класи просторових об'єктів, на основі яких буде побудована геометрична мережа.
4. Встановлюємо параметри «snapping» між об'єктами.
5. Визначаємо, які класи є джерелами та споживачами.
6. Встановлюємо ваги.

Для створення набору схематичних даних у роботі використовується додаток ArcGIS Schematics. Для створення такого набору необхідно вказати

ім'я набору, що створюється, зазначити шари, які будуть до нього входити, та створити його.

Таблиця 4.1 – Структура атрибутивної інформації споруд

Назва	Атрибут	Тип	Формат	Приклад
Довжина будівлі, м	Shape_Length	Double	x.xx	71,29
Площа будівлі, м ²	Shape_Area	Double	x.xx	335,13
Статус	Status	Text	xxxxxxxxxxxxx	Ж
Тип будівлі	BuildType	Text	xxxxxxxxxxxxx	Інженерний корпус
Матеріал	Material	Text	xxxxxxxxxxxxx	к
Кількість поверхів	Floor	Short Integer	xxx	5
Підключені інженерні комунікації	Communications	Text	xxxxxxxxxxxxx	водопостачання, газопостачання

За допомогою моделі інженерної інфраструктури вирішується великий об'єм задач, серед яких можуть бути такі:

- зберігання інформації в базі даних, доповнення й редагування її в реальному часі;
- визначення місць розташування труб з певним шуканим діаметром;
- відображення потоку води у водопровідній мережі від джерела до споживача за допомогою утиліт «Utility Network Analyst»;
- можливість визначення, яких саме споживачів буде відімкнено від водопостачання у разі пошкодження водопровідної мережі;
- створення діаграм інженерних мереж за різними алгоритмами (геосхематичним, ортогональним тощо);
- визначення місця розташування сталевих труб за віковим параметром – від найстаріших до найновіших за допомогою запиту.

4.4 Створення 3D-моделі промислових об'єктів у ArcGIS

Існує кілька способів створення 3D векторних даних ArcGIS. Ви можете створити клас просторових об'єктів, що містить значення z, та використовувати інтерактивні 3D-інструменти редагування для створення нових просторових об'єктів. Існує можливість імпортувати набір готових 3D-моделей із інших форматів у класи об'єктів мультіпатч. Також можна конвертувати 2D-векторні дані у 3D, використовуючи функціональну поверхню, атрибути просторових об'єктів або постійне значення. Часто зручно працювати з просторовими об'єктами, що мають 3D-геометрію. Хоча ви можете відображати просторові 2D-об'єкти за допомогою драпування на поверхні, 3D-об'єкти відображаються значно швидше, крім того, їх можна передавати іншим користувачам, не прикладаючи до них дані поверхні. Також існує велика кількість операцій 3D-аналізу, які використовують переваги 3D-геометрії, включно із технологією порівняння, такі як у додатковому модулі ArcGIS Network Analyst extension.

За допомогою модулів ArcGIS 3D Analyst та ArcScene створюється 3D-модель об'єктів підприємства. Ви можете створювати нові 3D-об'єкти (точки, лінії, полігони та мультіпатч) у ArcScene та в ArcGlobe під час сеансу 3D-редагування. Для створення просторових 3D-об'єктів клас об'єктів повинен мати z-значення. У більшості випадків одиниці вимірювання z-значень повинні відповідати одиницям вимірювання наземних координат x, y.

За позначками висоти створюється поверхня TIN, на поверхню накладаються споруди, комунікації, інші елементи місцевості підприємства. Для об'єктів задаються параметри видавлювання, що допомагають відобразити їх реальних розмір у 3D-моделі.

Для будівель видавлювання може розраховуватися за висотою кожної будівлі окремо, або за кількістю поверхів та розміром одного поверху.

Формування геоінформаційного середовища забезпечує підтримку ухвалення керуючих рішень, спрямованих на нормалізацію протікання

робочого процесу, забезпечення якості умов роботи та загального підвищення ефективності функціонування інженерних мереж.

В результаті створення і впровадження ГІС очікується отримання такого ефекту:

- підвищення оперативності управління інженерними мережами та якості надання інформації про просторові об'єкти керівництву промислового підприємства;
- підвищення точності та достовірності інформації про просторові об'єкти;
- скорочення витрат на підтримку в актуальному стані та оформлення документації (планів, схем і креслень).

Розробка подібних моделей дає змогу в подальшому вдосконалювати функціональність інженерної інфраструктури та доповнювати дані залежно від потреби користувачів. Розроблена ГІС-модель дає можливість візуально оцінити розташування та аналіз інженерних мереж у реалістичному просторі.

Контрольні запитання

1. Які основні етапи створення просторової моделі інженерних мереж промислового підприємства?
2. Які дані використовуються для створення ГІС-моделі інженерних мереж?
3. Як здійснюється побудова геометричної мережі у середовищі ArcGIS?
4. Які можливості надає ArcGIS Network Analyst для аналізу мереж?
5. Як працює ArcGIS Schematics і які переваги він має для візуалізації мереж?
6. Які методи можна використати для визначення критичних ділянок інженерних комунікацій?
7. Які рішення можуть бути запропоновані для підвищення ефективності управління інженерними мережами підприємства?

ТЕМА 5 РОЗПОВСЮДЖЕНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ МІСТ

План

- 5.1 Компоненти тривимірної міської ГІС.
- 5.2 Перехід до тривимірної ГІС.
- 5.3 Перспективи розвитку 3D-ГІС.
- 5.4 Створення цифрових моделей місцевості.

Розвиток технологій геоінформаційних систем (ГІС) призвів до переходу від двовимірного до тривимірного подання міських даних. Тривимірна міська геопросторова інформаційна система (3D-ГІС) забезпечує більш детальне моделювання міського середовища, що значно покращує аналіз, управління та планування міської інфраструктури. Основна мета 3D-ГІС – створення цифрового двійника міста для комплексного аналізу та прогнозування тенденцій розвитку.

5.1 Компоненти тривимірної міської ГІС

Незважаючи на те що в кожній організації можуть застосовуватися власні підходи, а архітектура системи може бути пристосована відповідно до своїх пріоритетів, тривимірна міська ГІС повинна містити основні функціональні компоненти, подані на рисунку 5.1. Розглянемо ці компоненти більш детально.

Тривимірне моделювання і контроль якості – створення тривимірних моделей, що вимагає відповідних даних, методик, інструментів і трудовитрат. Незалежно від того, чи створює муніципалітет тривимірні моделі самостійно або доручає цю роботу підрядчикам, необхідно виконати деякі процедури контролю якості перед впровадженням таких моделей у тривимірну міську ГІС.



Рисунок 5.1 – Основні функціональні компоненти тривимірної ГІС

Переваги впровадження:

1. Забезпечення комплексного аналізу міського середовища.
2. Оптимізація процесів планування та будівництва.
3. Поліпшення міжвідомчої взаємодії.
4. Можливість моделювання сценаріїв розвитку міста.
5. Інструменти для залучення громадськості до ухвалення рішень.

5.2 Перехід до тривимірної ГІС

Перехід до тривимірного подання міських об'єктів забезпечує нові можливості в таких сферах:

- містобудування та архітектурне проєктування – створення детальних моделей будівель, об'єктів інфраструктури та ландшафту;
- транспортне планування – візуалізація транспортних потоків, аналіз транспортних розв'язок та моделювання руху громадського транспорту;
- екологічний аналіз – моделювання тіньових зон, аналіз рівня забруднення повітря, прогнозування кліматичних змін;
- моніторинг забудови – аналіз змін міського середовища, управління земельними ресурсами та прогнозування розширення міст.

Технології тривимірного моделювання:

- 3D-ГІС використовує сучасні методи збору та обробки просторових даних;
- дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – використання супутникових знімків та аерофотознімків для оновлення картографічних даних;
- LIDAR – лазерне сканування для створення детальних цифрових моделей рельєфу та забудови;
- BIM (Building Information Modeling) – інтеграція з інформаційним моделюванням будівель для точного відображення об'єктів нерухомості;
- VR/AR технології – використання віртуальної та доповненої реальності для візуалізації міських проєктів.

5.3 Перспективи розвитку 3D-ГІС

Перспективи впровадження тривимірних геоінформаційних систем містять:

- автоматизацію процесів збору та оновлення даних – використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та сенсорних мереж IoT;
- штучний інтелект для аналізу міських процесів – прогнозування тенденцій розвитку міст, аналіз ринків нерухомості;
- розширення цифрових двійників міст – створення інтерактивних 3D-моделей для міського управління;
- інтеграцію з міськими сервісами – об'єднання 3D-ГІС із транспортними, екологічними та комунальними системами міста.

5.4 Створення цифрових моделей місцевості

У сучасних умовах урбанізації, зміни клімату та зростання вимог до сталого розвитку міст впровадження інформаційного моделювання (BIM, CIM, 3D-ГІС) стало важливою умовою ефективного управління міським

середовищем. Інформаційне моделювання міст (City Information Modeling, CIM) дозволяє створювати віртуальні тривимірні моделі, які об'єднують просторові, функціональні, інженерні та соціально-економічні характеристики об'єктів міської інфраструктури.

Цифрова модель місцевості (ЦММ) – це тривимірне подання рельєфу або поверхні землі, яке може містити не лише топографію, а й об'єкти забудови, зелені насадження, дорожню інфраструктуру тощо.

Використання цифрових моделей місцевості у поєднанні з тривимірними ГІС та інформаційним моделюванням міст дозволяє забезпечити сталий розвиток, ефективне управління ресурсами, прозорість планування та адаптацію до сучасних викликів урбанізації.

Основні типи моделей:

- DEM (Digital Elevation Model) – модель висот без урахування об'єктів;
- DTM (Digital Terrain Model) – модель рельєфу з фільтрацією надземних об'єктів;
- DSM (Digital Surface Model) – модель поверхні з усіма об'єктами (будівлі, дерева тощо);
- 3D City Model (CityGML) – комплексна тривимірна модель забудови міста з атрибутами.

Джерела даних:

- аерофотозйомка та дрони (UAV);
- лазерне сканування (LiDAR);
- супутникові знімки високої розподільної здатності;
- польова геодезія;
- архівні та кадастрові дані.

Програмне забезпечення для створення цифрових моделей місцевості

Різні програмні комплекси дозволяють будувати тривимірні моделі з урахуванням специфіки рельєфу, забудови та інфраструктури, як показано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Програмне забезпечення для побудови тривимірних моделей місцевості

Програмне забезпечення	Призначення
AutoCAD Civil 3D	Моделювання рельєфу, поверхонь, дорожньої інфраструктури
ArcGIS Pro / ArcScene / ArcGIS CityEngine	Побудова 3D-сцен, інтеграція з ГІС-даними, CityGML
QGIS + Qgis2threejs	Візуалізація DEM, створення 3D-мап у браузері
SketchUp	Моделювання архітектурних об'єктів
Revit + InfraWorks	BIM-моделювання для інженерних систем
BlenderGIS	Візуалізація та рендеринг 3D-міст на основі ГІС-даних

Також активно використовуються вебсервіси на основі CesiumJS, Mapbox GL, Unreal Engine (для VR/AR).

Сфери застосування цифрових моделей місцевості

Цифрові моделі місцевості застосовуються у таких сферах:

- містобудівне планування – зонування, аналіз щільності забудови, візуалізація планів детального планування територій;
- транспортне моделювання – прокладання маршрутів, моделювання потоків, виявлення «вузьких» місць;
- інженерна інфраструктура – аналіз підземних мереж, моделювання каналів водовідведення, оцінка впливу рельєфу на проект;
- оцінка ризиків – затоплення, зсуви, пожежна безпека;
- туризм і культурна спадщина – віртуальні тури, реконструкція історичних об'єктів;
- екологічне моделювання – аналіз зелених зон, моніторинг змін ландшафту.

Процедура створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) у ArcGIS Pro

1. Підготовка даних. Для створення ЦММ потрібні вихідні просторові дані рельєфу. Це можуть бути:

- точки з висотами (зйомка, GNSS, геодезія);
- ізолінії (горизонталі) з топографічних карт (у форматі поліліній);
- лазерне сканування (LiDAR) – у форматі .las / .zlas;
- готові растрові DEM/DTM-файли (наприклад, SRTM, ALOS, EU-DEM).

Усі дані мають бути прив'язані у відповідній проєкції.

2. Імпорт даних у ArcGIS Pro:

- створити новий проєкт (Project) → тип: Map;
- імпортувати векторні або точкові дані (Insert → Add Data);
- перевірити координатну систему (Right click по шару → Properties → Source → Spatial Reference).

3. Створення TIN-моделі (трикутна нерегулярна мережа). TIN (Triangulated Irregular Network) – проміжний формат між векторними даними і растровою ЦММ.

Інструмент: Create TIN (Toolbox → 3D Analyst → Data Management → TIN Management).

Параметри:

- Input Features: точки або ізолінії;
- Height Field: поле з висотами (наприклад, «Z» або «Elevation»);
- Constrained Delaunay Triangulation (за замовчуванням);
- Output TIN: вказати місце збереження;
- натисніть «Run».

4. Перетворення TIN у растрову модель (ЦММ). Інструмент: *TIN to Raster* (Toolbox → 3D Analyst → Conversion → From TIN).

Параметри:

- Input TIN: ваша TIN-модель;
- Output Raster: назва й шлях до растру;

- Sampling Distance: автоматично або вручну (наприклад, 5 м);
- Rasterization Method: Linear interpolation (для DTM);
- натисніть «Run».

5. Візуалізація та стилізація ЦММ:

- застосуйте Symbology → Stretch → Color Ramp (наприклад, від зеленого до коричневого);
- увімкніть Hillshade (тіньовий рельєф);
- toolbox → Spatial Analyst → Surface → *Hillshade*;
- опційно: створіть Slope або Aspect аналіз.

6. Експорт або збереження моделі. Можна експортувати в геоTIFF, IMG або зберегти в базу геоданих: Right click → Data → Export Raster → GeoTIFF, IMG, GRID.

Формати виводу ЦММ:

- .tif, .img – растрові моделі;
- .dem – Digital Elevation Model (інколи як синонім DTM);
- .lyrx – стилізований шар у ArcGIS Pro.

Додаткові поради:

- для великих територій використовуйте мозаїки растрів (Mosaic Dataset);
- якщо працюєте з LiDAR використовуйте LAS Dataset → LAS to Raster → Multipoint conversion.

Необхідні інструменти (Toolboxes):

- 3D Analyst;
- Spatial Analyst (для аналізу схилів, експозиції, тіней);
- Conversion Tools.

Тривимірна міська ГІС відкриває нові можливості для управління та аналізу міського середовища. Використання сучасних технологій збору, обробки та візуалізації даних дозволяє покращити планування міської інфраструктури, забезпечити ефективне управління нерухомістю та прогнозувати майбутній розвиток міст. Перехід до 3D-ГІС є важливим етапом у цифровій трансформації міського управління.

Контрольні запитання

1. У чому полягає актуальність впровадження інформаційного моделювання в міському середовищі?
2. Які типи цифрових моделей місцевості ви знаєте? Чим вони відрізняються між собою?
3. Які джерела даних використовуються для створення цифрових моделей місцевості?
4. Яке програмне забезпечення застосовується для створення тривимірних моделей міста?
5. Назвіть щонайменше три галузі, де застосовуються цифрові моделі місцевості.

ТЕМА 6 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

План

6.1 Основні програмні засоби для створення тривимірних моделей міст.

6.2 Технологія 3D-моделювання міського середовища у ArcGIS CityEngine.

6.3 Функціональні можливості тривимірних ГІС.

Тривимірне моделювання міст стає важливою частиною сучасного містобудування та управління територіями. Завдяки розвитку геоінформаційних технологій (ГІС) та програмного забезпечення для 3D-моделювання міста можуть більш ефективно подавати існуючі та плановані об'єкти з урахуванням рельєфу місцевості.

Основними цілями використання тривимірних ГІС є:

- ефективна візуалізація міських територій та їхнього розвитку;
- аналіз просторових характеристик забудови, інсоляції, тіньового впливу тощо;
- оптимізація рішень для проєктування нових об'єктів та реконструкції існуючих;
- підтримка ухвалення рішень міськими службами та органами влади.

6.1 Основні програмні засоби для створення тривимірних моделей міст

У сучасному урбаністичному проєктуванні все більшого значення набуває тривимірне моделювання міського середовища. 3D-моделі дозволяють не лише візуалізувати архітектурні та містобудівні рішення, а й здійснювати їхню просторову оцінку, аналіз впливу на навколишнє середовище та ефективність функціонального зонування. Використання геоінформаційних систем (зокрема ArcGIS) у поєднанні з архітектурним проєктуванням створює

умови для комплексного підходу до планування, дає змогу апробувати різні варіанти забудови у віртуальному середовищі, що підвищує якість ухвалення управлінських рішень.

Сучасне програмне забезпечення для 3D-ГІС дозволяє ефективно обробляти геопросторові дані, інтегрувати різні джерела інформації та створювати реалістичні тривимірні моделі. Основні програми містять:

1. ArcGIS CityEngine – програмний комплекс для генерації 3D-моделей міських територій з використанням процедурного моделювання. Дозволяє створювати масштабовані міські моделі на основі ГІС-даних.

2. Esri ArcGIS Pro (3D Analyst) – професійне рішення для аналізу тривимірних даних, моделювання міських територій та управління великомасштабними проєктами.

3. Autodesk InfraWorks – використовується для моделювання інфраструктурних проєктів, дозволяє створювати інтерактивні 3D-моделі міської забудови.

4. Bentley ContextCapture – дозволяє створювати детальні 3D-моделі міських територій на основі фотограмметричних даних.

5. QGIS із плагінами для 3D-візуалізації – відкрите програмне забезпечення з можливістю інтеграції тривимірних даних.

6. Google Earth Pro – інструмент для перегляду 3D-моделей міст, оцінки територій та аналізу рельєфу.

6.2 Технологія 3D-моделювання міського середовища в ArcGIS CityEngine

Створення тривимірної моделі міського середовища містить послідовність ключових етапів, кожен із яких є необхідною складовою повного циклу просторового моделювання. Основні етапи:

1. Збір даних.
2. Інтеграція даних в єдину базу геопросторових даних (БГД).
3. Підготовка даних засобами ArcGIS.

4. Інтеграція даних у CityEngine.
5. Побудова 3D-моделі з використанням правил (Rules).
6. Експорт у ArcScene.
7. Аналіз міського середовища.

Підготовка даних засобами ArcGIS

Перед тим як почати безпосередньо моделювання у CityEngine, необхідно підготувати дані для побудови 3D-моделей. До цього належить:

- побудова 3D-моделі рельєфу;
- побудова 3D-моделі вулично-дорожньої мережі;
- технологія створення 3D-моделі типових і оригінальних будівель.

Процедура створення шару з об'єктами мультипатч

Процес створення об'єктів типу мультипатч дозволяє моделювати складні будівельні структури. Мультипатч-об'єкти є важливим інструментом для відображення складних геометричних форм будівель:

1. Етап I – Побудова моделі будинку.
2. Етап II – Надання моделі просторової прив'язки.
3. Етап III – Додавання моделі до шару об'єктів.
4. Етап IV – Конвертація шару в клас просторових об'єктів-мультипатчів.
5. Етап V – Тестування роботи зі створеним шаром об'єктів.
6. Етап VI – Уточнення місцезнаходження мультипатч-об'єктів.
7. Етап VII – Інтеграція моделі міста в програмне середовище.

Задачі, виконані за допомогою CityEngine

Використовуючи CityEngine, можна вирішувати низку важливих задач, що містять моделювання міських територій, імпорт даних, створення

транспортних мереж та ландшафтних елементів. Це дозволяє отримати комплексну модель, яка відповідає реальним умовам міста.

Під час використання CityEngine було поставлено такі задачі:

- розробка, підготовка та редагування правил;
- імпорт даних з ArcGIS, collada;
- подання транспортної мережі, включно зі складними об'єктами (розв'язками, мостами);
- моделювання лісових насаджень;
- моделювання нових об'єктів;
- експорт даних у ArcGIS та ArcScene.

Технологія створення транспортної мережі засобами CityEngine

Моделювання транспортної мережі є важливим етапом, оскільки він дозволяє точно відобразити інфраструктуру міста. Цей процес містить кілька ключових кроків:

1. Крок I – Надання шейп-файлові транспортної мережі просторової (висотної) прив'язки.
2. Крок II – Розробка, редагування та застосування правил.
3. Крок III – Редагування сегментів транспортної мережі.
4. Крок IV – Відтворення мостів та дорожніх розв'язок засобами CityEngine.

Аналіз міського середовища

Аналіз міського середовища дозволяє оцінити, як різні чинники впливають на комфорт та ефективність міського життя. Один із важливих аспектів такого аналізу – це зонування, яке використовується для управління використанням землі.

Моделювання інсоляції

Використовуючи інструменти, такі як ArcToolbox і Sun Shadow Volume (рис. 6.1), можна моделювати, як різні об'єкти міського середовища впливають на рівень освітленості в певних зонах протягом дня. Це дозволяє оцінити, як забудова впливає на інсоляцію та комфорт мешканців.

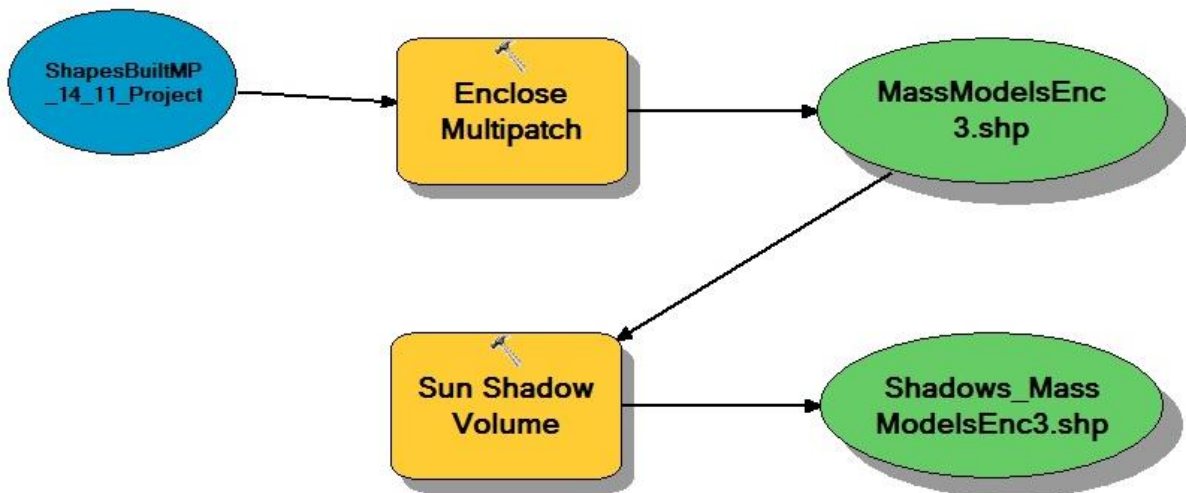


Рисунок 6.1 – Налаштування параметрів інструмента Sun Shadow Volume

6.3 Функціональні можливості тривимірних ГІС

Тривимірні ГІС-системи мають широкий спектр функцій, які дозволяють не тільки візуалізувати територію, а й проводити детальний аналіз.

Реалістичне 3D-відображення міських районів – інтеграція рельєфу, будівель, вулиць, транспортної інфраструктури.

Моделювання майбутніх забудов – оцінка впливу нових об'єктів на існуюче міське середовище.

Аналіз інсоляції та тіней – розрахунок рівня освітленості будівель залежно від часу доби та пори року.

Екологічний аналіз – оцінка шумового та забруднюючого впливу міської забудови.

Геопросторовий аналіз – визначення зон видимості, оцінка транспортної доступності.

Симуляція сценаріїв розвитку міст – прогнозування змін у міській інфраструктурі залежно від різних факторів розвитку.

Використання тривимірних ГІС дозволяє значно покращити процеси управління містами, створювати ефективні проєктні рішення та розвивати концепцію Smart City. Завдяки сучасним технологіям міські служби та органи влади отримують можливість швидко аналізувати поточний стан території та прогнозувати майбутні зміни, що сприяє раціональному використанню міського простору.

Контрольні запитання

1. Що таке 3D-моделювання міського середовища та які переваги воно має у міському плануванні?
2. Які основні методи просторового моделювання реалізовані у програмі CityEngine?
3. Як створюється та налаштовується транспортна мережа у середовищі CityEngine?
4. Які інструменти CityEngine використовуються для моделювання зелених насаджень і ландшафтних елементів?
5. У чому полягає аналіз міського середовища у CityEngine та які основні параметри під час цього враховуються?

ТЕМА 7 ВИКОРИСТАННЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

План

7.1 Збереження культурної спадщини.

7.2 Відновлення пам'яток архітектури та містобудування.

7.3 Етапи відбудови.

7.1 Збереження культурної спадщини

Причини втрати пам'яток:

1. В період воєнних дій втрата історичних пам'яток набула катастрофічних темпів у зв'язку з обстрілами міст.
2. Виведення пам'яток з Державного реєстру архітектурних пам'яток України.
3. Невдала реставрація, яка не відповідає нормам.
4. Спотворення фасадів мешканцями будинків.
5. Стихійна неконтрольована надбудова.
6. Вандалізм, незаконне знесення.

Розв'язання проблеми:

1. Макети будівель та архітектурних споруд можуть бути перетворені із цифрової тривимірної моделі на модель фізичну.
2. Це може ознайомити людей по всьому світу з українськими архітектурними пам'ятками.
3. Це допоможе під час відбудови споруд після їх часткового або повного знищення внаслідок воєнних дій.

Основні стратегії

Три основні стратегії створення тривимірних моделей з подальшим імпортом у геоінформаційний простір:

- ручне створення моделей у програмах тривимірного моделювання;
- повністю автоматична генерація 3D-моделей;
- напівавтоматичне створення 3D-моделей.

Програмне забезпечення

Для створення 3D-моделей найбільш поширеними у світі є такі програми (табл. 7.1):

- SketchUp;
- ArchiCAD;
- 3ds Max;
- ArcGIS Pro.

Таблиця 7.1 – Порівняльна характеристика програмного забезпечення для 3D-моделювання

Характеристика	SketchUp	ArchiCAD	3ds Max	ArcGIS Pro
Точність розмірів	+++	+++	+++	++
Продуктивність	++	+++	+++	++
Навички роботи	++	++	+	++
Рівень візуалізації	++	++	+++	++ (через Scene, Multipatch, Symbology)
*Збереження моделі у форматі .3ds	++	+++	+++	–
Простота інтерфейсу	+++	++	+	++
Вартість ліцензії	≈ 8 313,90 грн/рік (є безкоштовна версія)	≈ 131 069,41 грн/рік	≈ 91 703,00 грн/рік	≈ 13 000–50 000 грн/рік (академліцензія або Pro)
Позиціонування на карті	+	–	–	+++ (інтеграція з GIS)

Пояснення символів:

+++ – високий рівень;

++ – середній рівень;

+ – базовий рівень;

– – нестача функції або слабка реалізація.

Програмне забезпечення ArcGIS Pro єдине, яке має змогу імпортувати файли у форматі *.3ds та надає імітацію облетіння навколо імпортованої моделі.

7.2 Відновлення пам'яток архітектури та містобудування

Втрати архітектурних споруд

Найбільш наочними втратами під час військових дій є втрати архітектурних споруд. Збереження та розвиток історичного вигляду міст після завершення бойових дій стане важливим завданням для постраждалих міст.

Автентичний вигляд міста

У разі недотримання певних меж місто може втратити свій історичний центр, або ж його архітектурний ансамбль стане непривабливим для містян та туристів. Це нанесе безпосередню матеріальну шкоду у сфері туризму.

Повоєнна відбудова

Необхідно зібрати та систематизувати значну кількість інформації, зокрема геопросторової, та запобігти необдуманому спонтанному ухваленню рішень. Саме для цього необхідно запровадити алгоритм відновлення будівель і споруд, що є пам'ятками містобудування та архітектури.

Максимально точне відтворення

Містобудівне відтворення ансамблів зруйнованих міст із максимально точним та достовірним відтворенням планувальної системи забудови.

Цілеспрямоване відновлення; матеріальне втілення національної містобудівної культури минулого має не загинути, а бути відновлено та передано наступним поколінням.

Спрощення

Максимально достовірно відтворюються лише форми будівель (звести об'єми, що повторюють розміри та контури втрачених будівель без будь-яких спроб відтворення їх архітектурних форм – це дозволяє зберегти характер їх взаємозв'язків).

Створення великих блоків замкнених будинків:

- збереження об'ємного членування та контурних ліній історичного середовища;
- надання підкреслено сучасних форм в єдиному характері всьому блоку;
- спільність укрупнює забудову, створює проміжний масштаб між обсягом окремого будинку та простором міста.

Нові комплекси, що створюються незалежно від існуючого планування:

- нові комплекси створюються на звільнених від руїн ділянках незалежно від існуючого планування та меж володінь;
- головні історичні вулиці не забудовуються;
- нове будівництво на звільнених територіях (орієнтація його композиційних осей пов'язана певною мірою зі становищем відновлюваних домінант та історичних орієнтирів).

7.3 Етапи відбудови

Принциповою метою відбудови пам'яток та історичного вигляду міста в цілому має стати збереження його первісного довоєнного вигляду, співвідношення об'ємів та архітектурних форм, певного гармонійного ритму, який до бойових дій робив місто таким, яке воно було.

Однією з великих задач для максимально точного відтворення довоєнного вигляду міста є збір даних про будівлі, що потребують реконструкції.

Насамперед має бути створена просторова база даних, яка має систематизувати цю інформацію. Це поліпшить співпрацю інтелектуальної еліти українського суспільства, наділить досвідом молодих спеціалістів, збереже первісний вигляд міста. Тривимірне подання об'єктів у геоінформаційних системах (ГІС) стало важливим кроком у розвитку цифрового картографування та міського планування. Завдяки сучасному програмному забезпеченню стало можливим ефективніше аналізувати й візуалізувати складні міські середовища, що сприяє ухваленню більш обґрунтованих рішень.

Контрольні запитання

1. Які основні недоліки двовимірних геоінформаційних систем?
2. Які переваги дає перехід до тривимірного подання об'єктів у ГІС?
3. Які сучасні програмні засоби використовуються для 3D-моделювання міст?
4. Як тривимірні ГІС допомагають аналізувати міське середовище?
5. Які етапи відбудови пам'яток архітектури та містобудування є актуальними сьогодні?

ТЕМА 8 ЗАСТОСУВАННЯ AUTOCAD CIVIL 3D ТА ARCGIS ДЛЯ АНАЛІЗУ І МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ

План

- 8.1 Застосування AutoCad Civil під час обробки топографічної зйомки.
- 8.2 Створення плану району робіт за допомогою програмних засобів ГІС.
- 8.3 Використання засобів ГІС для проєктування ділянки залізниці.
- 8.4 Побудова 3D-моделі у ArcScene.

8.1 Застосування AutoCAD Civil 3D під час обробки топографічної зйомки

AutoCAD Civil 3D – потужне програмне забезпечення для інженерного проєктування, що дозволяє ефективно обробляти, аналізувати та моделювати дані топографічної зйомки. Його основне завдання – перетворити «сирі» польові дані на придатну до проєктування цифрову модель місцевості (ЦММ).

Основні етапи обробки:

- імпорт даних зйомки: підтримка форматів .txt, .csv, LandXML, а також підключення GNSS-даних через Survey Database;
- класифікація точок: надання точкам описів (кодів), що дозволяє автоматизувати побудову елементів (доріг, бордюрів, контурів водойм тощо);
- побудова поверхні: на основі набору точок створюється триангуляційна цифрова модель рельєфу (TIN Surface);
- редагування поверхні: містить фільтрацію шумів, додавання ліній розриву, коригування контурів;
- аналіз рельєфу: побудова горизонталей, визначення уклонів, експозиції схилів тощо.

Переваги Civil 3D для топографії:

- автоматизоване оновлення моделі зі зміною вхідних даних;
- створення планово-висотної основи згідно з державними стандартами;
- можливість експорту до інших систем (включно з ArcGIS та Revit).

8.2 Створення плану району робіт за допомогою програмних засобів ГІС

Геоінформаційні системи (ГІС), такі як ArcGIS, дозволяють створювати повноцінний план району робіт із урахуванням просторового контексту, реального стану території та обмежень.

Основні етапи створення плану в ArcGIS:

1. Імпорт вихідних даних (топоплани, ортофотоплани, кадастрові межі, гідрографія тощо).
2. Геоприв'язка і трансформація: вирівнювання різних джерел у єдиній координатній системі.
3. Цифрування об'єктів: межі району робіт, дорожня інфраструктура, лінії електропередач, водопостачання.
4. Аналіз просторових обмежень: охоронні зони, зони підтоплення, небезпечні схили.
5. Символізація та оформлення: тематичне відображення типів покриття, профілів рельєфу, технічної інфраструктури.

Інструменти ArcGIS:

- ArcMap / ArcGIS Pro для створення мап;
- ModelBuilder для автоматизації процесів;
- Spatial Analyst для обчислення рельєфу, уклонів, експозицій.

Результат: електронна карта району робіт з можливістю інтерактивного оновлення та використання в подальших проєктах.

8.3 Використання засобів ГІС для проєктування ділянки залізниці

Проєктування лінійних інфраструктурних об'єктів, зокрема залізниці, значно ефективніше, якщо поєднано CAD- і ГІС-підходи.

Переваги застосування ГІС у проєктуванні залізниці:

- можливість розгляду альтернативних маршрутів з аналізом рельєфу, землекористування та інженерних мереж;

- просторове моделювання впливу об'єкта (зони шуму, вібрацій, ризику забруднення);
- застосування сервісів геокодування та просторової оптимізації (наприклад, Least Cost Path analysis).

Типовий сценарій:

1. Імпорт ЦММ із Civil 3D до ArcGIS (через LandXML або geodatabase).
2. Побудова маршрутів з урахуванням обмежень: алгоритми оптимізації прокладають шлях через найменш витратну ділянку.
3. Моделювання буферних зон: формування охоронних зон навколо залізниці.
4. Оцінка варіантів: інструменти Weighted Overlay та Suitability Modeling.

Використовувані модулі:

- ArcGIS Spatial Analyst;
- ArcGIS 3D Analyst;
- ArcGIS Network Analyst (для транспортних мереж).

8.4 Побудова 3D-моделі в ArcScene

ArcScene (частина 3D Analyst) дозволяє створювати і візуалізувати тривимірні просторові моделі на основі растрів, TIN-моделей та векторних даних.

Процедура побудови 3D-моделі:

1. Підготовка рельєфу:
 - імпорт цифрової моделі рельєфу (DEM або TIN);
 - застосування вертикального екзагерування (для акценту на рельєфних елементах).
2. Накладення об'єктів:
 - екструзія будівель за атрибутом висоти;
 - розміщення інженерних об'єктів – шляхопроводів, опор ЛЕП, естакад.

3. Візуалізація та налаштування стилів:

- задання тіней, денного освітлення, прозорості шарів;
- обертання сцени, zoom-панорування.

4. Експорт результату відбувається у форматі VRML, Collada або інтеграції до вебплатформи (через ArcGIS Online Scene Viewer).

Застосування:

- презентація проєктів перед громадськістю або замовником;
- аналіз видимості, інсоляції та візуального впливу;
- сценарне планування забудови.

Інтеграція AutoCAD Civil 3D та ArcGIS створює потужне середовище для обробки топографічної зйомки, просторового аналізу, планування та 3D-моделювання інфраструктурних об'єктів. Вона забезпечує повний цикл – від польового вимірювання до цифрової моделі об'єкта в реальному середовищі, що дозволяє інженерам та проєктувальникам ухвалювати обґрунтовані рішення.

Контрольні запитання

1. Які етапи містить обробка топографічної зйомки в AutoCAD Civil 3D?
2. Які типи просторових об'єктів доцільно створювати під час формування плану району робіт у ГІС?
3. Які аналітичні інструменти ArcGIS використовуються для проєктування маршруту залізниці?
4. У чому полягає призначення модуля ArcScene у середовищі ArcGIS?
5. Які переваги надає поєднання AutoCAD Civil 3D та ArcGIS під час роботи з інфраструктурними об'єктами?

ТЕМА 9 СТВОРЕННЯ ТА АКТУАЛІЗУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

План

- 9.1 Базові геопросторові дані.
- 9.2 Етапи створення базових геопросторових даних.
- 9.3 Тематичні геопросторові дані.
- 9.4 Державні та відкриті інформаційні ресурси.

Геоінформаційна система (ГІС) територіальної громади – інноваційний електронний картографічний ресурс, головне завдання якого забезпечення цілеспрямованого та комфортного управління активами громади: природними (водними, лісовими, мінерально-сировинними) та земельними ресурсами, інженерно-транспортною, соціальною, туристичною інфраструктурою, інвестиційним потенціалом громади, забезпечує оперативну комунікацію громадян та керівництва громади.

В архітектурі системи використовуються принципи модульності, єдності технологій та подання геопросторової інформації засобами інтернет-технологій. Кожен модуль геоінформаційної системи може працювати окремо від інших, що дозволяє доповнювати систему поетапно.

9.1 Базові геопросторові дані

Базові геопросторові дані (БГД) – це просторові дані, які забезпечують фундамент для побудови більшості ГІС-додатків. Вони охоплюють ключові об’єкти навколишнього середовища та інфраструктури й мають високий рівень узагальнення.

До базових геопросторових даних належать:

- адміністративно-територіальні межі (громад, районів, областей);
- топографічні об'єкти (рельєф, водні об'єкти, дороги, будівлі);
- кадастрова інформація (земельні ділянки, межі власності);
- транспортна інфраструктура;
- об'єкти інженерних мереж;
- межі зон обмежень (санітарні, охоронні, водоохоронні тощо).

Наявність якісних базових геоданих дає можливість формувати точну аналітичну базу для планування розвитку громади, управління ресурсами, екологічного моніторингу, землеустрою, надання публічних послуг.

Модулі геоінформаційної системи територіальної громади:

- містобудівний кадастр;
- земельний кадастр громади;
- управління інженерними мережами;
- управління транспортною інфраструктурою;
- управління соціальною інфраструктурою;
- управління інвестиційними об'єктами;
- управління комунальним майном;
- управління туристичною галуззю;
- управління об'єктами культурної спадщини;
- управління водним господарством;
- управління відходами;
- модуль електронних звернень;
- модуль інвентаризації активів громади.

Можливості геоінформаційної системи територіальної громади:

- візуалізація, оперативний доступ, адміністрування та актуалізація містобудівної документації (генеральних планів, детальних планів території, топографічних планів, ортофотопланів, комплексного плану просторового розвитку території громади, цифрових тематичних карт);

- автоматизація ведення єдиного адресного реєстру, реєстрів містобудівних умов та обмежень, будівельних паспортів, тимчасових споруд, рекламних носіїв тощо;

- візуалізація повного та актуального земельного банку громади та достовірних параметрів земельних ділянок;

- автоматизація ведення земельного кадастру громади в режимі поєднання з даними Державного земельного кадастру, Державного реєстру речових прав на нерухоме майно, Реєстру судових рішень, податкових реєстрів;

- аналіз земельного банку громади у режимі поєднання з містобудівною документацією (генеральним планом, схемою планування території громади, детальним планом території тощо);

- зручне ведення картографічної бази даних та інвентаризації інженерних комунікацій (каналізаційних і теплових мереж; підземних водопроводів, газопроводів; повітряних ліній електропередач, кабелів зв'язку й силових кабелів; оглядових колодязів тощо), автоматизація ведення технічної документації;

- облік, паспортизація та оперативна інвентаризація об'єктів туризму, комунальної власності, інвестиційних проєктів тощо.

Перелік матеріалів, необхідних для створення базового функціонала ГІС:

- нормативна грошова оцінка населених пунктів, які входять до складу територіальної громади (схеми економіко-планувального зонування та прояву локальних факторів, картограми агровиробничих груп ґрунтів);

- проєкти формування території і встановлення меж сільських рад, які входять до складу територіальної громади;

- картограми агровиробничих груп ґрунтів;

- схеми населених пунктів із нанесенням інженерних комунікацій, назв вулиць, адміністративних та соціально-культурних закладів;

- генеральні плани, ортофотоплани та інші картографічні матеріали (схеми, плани зонування тощо) населених пунктів, які належать до складу ОТГ.

9.2 Етапи створення базових геопросторових даних

Створення базових геопросторових даних (далі – БГД) передбачає послідовне виконання кількох ключових етапів:

1. Аналіз наявних даних: перевірка джерел, визначення актуальності, формату, охоплення.
2. Збір нових даних: польові роботи, використання БПЛА (дронів), супутникових або аерофотознімків.
3. Оцифрування та створення шарів: у середовищі ГІС відбувається векторизація об'єктів та формування атрибутивної таблиці.
4. Контроль якості та валідація: перевірка топологічних помилок, відповідності координат, повноти.
5. Публікація та доступність: внесення до геопорталів, використання стандартів відкритих даних.
6. Актуалізація: регулярне оновлення зі зміною меж, забудови, інфраструктури.

9.3 Тематичні геопросторові дані

Тематичні геопросторові дані – це шари, які відображають специфічні аспекти території, пов'язані з певною галуззю чи тематикою.

Приклади тематичних геоданих:

- екологічна ситуація (забруднення, природоохоронні об'єкти);
- демографія (щільність населення, вік, зайнятість);
- стан доріг і об'єктів інфраструктури;
- об'єкти освіти, охорони здоров'я, культури;
- зони ризику (затоплення, зсуви, пожежі);
- об'єкти містобудівного кадастру;
- туристичні маршрути, пам'ятки.

Тематичні шари формуються на основі статистичних даних, польових спостережень, результатів ГІС-аналізу та обробки ДЗЗ.

Набір даних геоінформаційної системи:

- сучасний адміністративно-територіальний поділ (межа громади, межі населених пунктів громади);
- цифрова містобудівна документація: ортофотоплани, генеральні плани населених пунктів, детальні плани території, плани зонування та інші картографічні матеріали;
- матеріали нормативної грошової оцінки (межі землеоцінювальних районів, контури агровиробничих груп ґрунтів, обмеження у використанні земель);
- адресний реєстр громади;
- інженерні мережі водопостачання, водовідведення, газопроводи, тепломережі (із зазначенням діаметра та матеріалу труб, дат впровадження в експлуатацію, останнього ремонту тощо), електромережі, силові кабелі із відповідними технічними параметрами (кількість кабелів, напруга тощо), а також оглядові колодязі та їхні технічні характеристики (приналежність до виду мереж, глибина, точні координати тощо);
- інвестиційні об'єкти та пропозиції (вільні виробничі площі, вільні земельні ділянки, інвестиційні проєкти), об'єкти комунальної власності, туристичні атракції, спортивні споруди тощо.

9.4 Державні та відкриті інформаційні ресурси

Для побудови актуальних геопросторових даних громади важливо використовувати вже наявні відкриті державні ресурси, які забезпечують доступ до офіційних картографічних і статистичних даних.

Ключові джерела:

1. Публічна кадастрова карта України: URL: <https://map.land.gov.ua>
2. Геопортал Держгеокадастру: URL: <https://map.geoportalua.com>

3. Геопортал відкритих даних України: URL: <https://data.gov.ua>
4. Геопортал містобудівного кадастру: URL: <https://map.minregion.gov.ua>
5. Карта моніторингу земель: URL: <https://monitor.land.gov.ua>
6. Карта енергоефективності громад: URL: <https://portal.energy.gov.ua>
7. OpenStreetMap: URL: <https://www.openstreetmap.org> (глобальна краудсорсингово-оновлювана база даних).

Використання відкритих даних дозволяє уникнути дублювання, підвищити точність і зменшити витрати на створення геопросторових ресурсів громади.

Розбудова ефективної геоінформаційної системи громади починається зі створення якісної бази геопросторових даних. Збір, актуалізація, відкритість і інтеграція базових та тематичних даних сприяють прозорості управління, ефективному плануванню, залученню інвестицій і покращенню надання послуг мешканцям громади.

Контрольні запитання

1. Що таке базові геопросторові дані і які об'єкти до них належать?
2. Назвіть основні етапи створення базових геопросторових даних.
3. Яка різниця між базовими та тематичними геопросторовими даними?
4. Назвіть три відкриті державні джерела геопросторових даних в Україні.
5. Які переваги має актуалізація геоданих для органів місцевого самоврядування?

ТЕМА 10 ЗАСТОСУВАННЯ SKETCHUP ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ З ІНТЕГРАЦІЄЮ МОДЕЛЕЙ У ARCGIS

План

10.1 Огляд розвитку та можливостей SketchUp.

10.2 Основи роботи у SketchUp.

10.3 Інтеграція моделей SketchUp у ArcGIS.

SketchUp є одним із найпопулярніших інструментів тривимірного моделювання, який широко використовується в архітектурі, будівництві та урбаністиці. Його зручний інтерфейс і доступність роблять його ідеальним інструментом для створення моделей будівель та інших об'єктів нерухомості. У поєднанні з ArcGIS від Esri ці моделі можна інтегрувати в геоінформаційне середовище для аналізу, візуалізації та ухвалення рішень.

10.1 Огляд розвитку та можливостей SketchUp

Програма **SketchUp** – це одна з найвідоміших платформ для тривимірного моделювання, яка вже понад два десятиліття залишається популярною серед архітекторів, дизайнерів, урбаністів та розробників візуальних середовищ. Її перша версія була випущена американською компанією **Last Software** у 1999 році. У 2006 році SketchUp придбала корпорація **Google**, яка одразу почала активно розвивати продукт. Так, у 2007 році вийшла версія **Google SketchUp 6**, а наступні оновлення – версії 7 та 8 – побачили світ відповідно у 2008 і 2010 роках.

У квітні 2012 року Google передала права на SketchUp компанії **Trimble**, що спеціалізується на технологіях позиціонування. Відтоді Trimble активно розвиває програму, підтримуючи співпрацю з Google у рамках роботи онлайн-платформи **3D Warehouse** – сховища тривимірних моделей, створених

користувачами. Цей сервіс надає змогу завантажувати, поширювати та повторно використовувати моделі, а також переглядати їх безпосередньо у Google Earth. На сьогодні база 3D Warehouse налічує близько 2 мільйонів моделей.

Переваги SketchUp

SketchUp здобув визнання завдяки простому інтерфейсу, доступності та широким функціональним можливостям. Програма має дві версії:

- **SketchUp Pro** – професійна версія з повним функціоналом;
- **SketchUp Free (безкоштовна версія)** – веборієнтована альтернатива з базовими можливостями, яка підходить для більшості навчальних і побутових задач.

Інтерфейс SketchUp розроблений з урахуванням потреб як початківців, так і професіоналів. Спрощений набір інструментів, інтуїтивно зрозумілий сценарій взаємодії з користувачем і можливість швидкого створення 3D-об'єктів роблять процес моделювання ефективним і захопливим.

Застосування SketchUp

SketchUp широко використовується в таких сферах:

- архітектура та містобудування – створення моделей будівель, парків, інтер'єрів із можливістю деталізації, поділу на частини, виконання розрізів, анімацій та перегляду об'єктів «зсередини»;
- проєктування – швидке створення концептуальних рішень та візуалізація об'єктів на різних стадіях проєктування;
- ігрова індустрія – побудова 3D-сцен, моделювання рівнів та інтер'єрів із можливістю навігації від першої особи;
- навчання – зручний інструмент для студентів архітектурних і дизайнерських спеціальностей.

Технологічні можливості

Усі тривимірні моделі у SketchUp будуються на основі простих 2D-примітивів – ліній, дуг, прямокутників, багатокутників тощо. Ці елементи за допомогою інструментів на кшталт *Push/Pull* або *Follow Me* легко перетворюються на складні об’ємні структури. Наприклад, можна змодельовати будинок, додати до нього веранду, розмістити меблі, і все це – з використанням інтуїтивно зрозумілих інструментів.

SketchUp також підтримує експорт у популярні формати (DAE, KMZ, FBX, OBJ), що дозволяє інтегрувати моделі у такі середовища, як 3Ds Max, Revit, ArchiCAD чи ArcGIS.

Професійна точність і підтримка

Попри свою простоту SketchUp забезпечує високий рівень точності, який можна порівняти з CAD-системами. Програма динамічно підказує наступні кроки та способи дій, а контекстні графічні й текстові підказки допомагають користувачам уникати помилок у процесі моделювання.

SketchUp – це потужний і водночас доступний інструмент для 3D-моделювання, що поєднує інтуїтивність із професійною функціональністю. Завдяки постійному розвитку та інтеграції з іншими платформами, програма залишається актуальною для широкого кола користувачів – від студентів до архітекторів і розробників комп’ютерних ігор.

10.2 Основи роботи у SketchUp

Інтерфейс та інструменти:

- робоче середовище: тривимірне креслення з панеллю інструментів;
- основні інструменти: «Line», «Push/Pull», «Rectangle», «Follow Me», «Orbit» тощо;
- компоненти та групи для структурування об’єктів;

- переваги використання SketchUp;
- простота у використанні;
- бібліотека готових об'єктів (3D Warehouse);
- плагіни для розширення функціоналу;
- експорт у різні формати (OBJ, DAE, KMZ, STL).

Моделювання об'єктів нерухомості

1. Етапи побудови моделі:

- імпорт геопідоснови або креслення;
- створення об'ємної геометрії будівлі;
- додавання текстур та матеріалів;
- розміщення в контексті оточення.

2. Збереження моделі у відповідному форматі.

Для інтеграції з ArcGIS рекомендується використовувати формат Collada (.DAE), .KMZ або .FBX.

10.3 Інтеграція моделей SketchUp у ArcGIS

1. Підготовка моделі до імпорту:

- визначення координатної системи (геоприв'язка);
- зменшення складності моделі для оптимізації візуалізації.

2. Імпорт у ArcGIS Pro:

- у ArcGIS Pro додати 3D-сцену (Local Scene або Global Scene);
- імпорт моделі через інструмент «Import 3D Files»;
- прив'язка моделі до базових карт та висотних шарів.

3. Використання моделі у 3D-аналітиці:

- аналіз затінення, видимості, доступності;
- інтеграція з іншими просторовими даними (шарами землекористування, інженерними мережами).

Приклади використання:

- містобудівне планування: моделювання кварталів, аналіз впливу нової забудови;
- кадастровий облік: візуалізація 3D-парсел та будівель;
- архітектурні конкурси: подання проєктів у реальному середовищі (рис. 10.1).



Рисунок 10.1 – Інтеграція об’єкта, створеного у SketchUp до ArcGIS

SketchUp є ефективним інструментом для створення тривимірних моделей об’єктів нерухомості. Його інтеграція з ArcGIS дозволяє не лише візуалізувати об’єкти в географічному контексті, але й проводити комплексний просторовий аналіз. Така синергія значно підвищує якість проєктних рішень та підтримує ефективне управління простором.

Контрольні запитання

1. Які формати файлів зі SketchUp сумісні з ArcGIS?
2. Як можна виконати геоприв'язку 3D-моделі в ArcGIS Pro?
3. Які інструменти SketchUp дозволяють створити будівлю з нуля?
4. У яких випадках застосовується інтеграція SketchUp і ArcGIS у практиці?
5. Які переваги дає аналіз 3D-моделей у середовищі ArcGIS?

ТЕМА 11 РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ АРХІТЕКТУРНИХ КОМПЛЕКСІВ

План

11.1 Етапи створення тривимірних моделей складних архітектурних комплексів.

11.2 Розробка технології побудови 3D-моделі високої інформативності.

11.3 Побудова тривимірної моделі у 3Ds Max та експорт її у ArcGIS.

11.1 Етапи створення тривимірних моделей складних архітектурних комплексів

Створення реалістичного зображення складається з двох етапів:

- моделювання об'єктів тривимірної сцени;
- візуалізація (рендеринг).

Моделювання – складний процес, результатом якого є закінчена тривимірна сцена в пам'яті комп'ютера. Моделювання складається зі створення окремих об'єктів сцени з їх подальшим розміщенням у просторі. Серед безлічі підходів до створення тривимірних моделей об'єктів можна виділити декілька основних, пропонованих сьогодні в найуспішніших програмах 3D-графіки:

- створення твердих тіл за допомогою булевих операцій шляхом додавання, віднімання або перетину матеріалу моделей;
- формування складних полігональних поверхонь, які називаються меш (від англ. mesh – сітка), шляхом полігонального або NURBS-моделювання;
- застосування модифікаторів геометрії.

Модифікатором називається дія, що призначається для об'єкта, внаслідок чого властивості об'єкта і його зовнішній вигляд змінюються.

Модифікатором може бути витягання, вигин, скручування тощо. Завершальним етапом моделювання тривимірної сцени є розташування камер

(крапок у просторі, звідки може бути спрямований погляд спостерігача) і джерел світла. Візуалізація, частіше звана рендерингом (від англ. render – перетворювати, переводити), – найважливіший етап формування тривимірного зображення, що полягає в проєктуванні сцени на екран комп’ютера з урахуванням освітленості, матеріалів об’єктів сцени і певної точки погляду.

Технології рендеринга можна поділити на дві великі категорії: першу з них враховує дія світла тільки від безпосередніх джерел (локальне освітлення), а друга обробляє віддзеркалення світла від вторинних джерел (глобальне освітлення). Самих же методів розрахунку інтенсивності світла налічується багато. Найбільш відомий із них – трасування проміння (ray tracing). Метод заснований на відстежуванні шляхів всього проміння у сцені від їх джерел до ока спостерігача. Дуже важливим етапом візуалізації є текстурування, тобто процес накладання текстур на моделі. Текстурами може бути будь-яке двовимірне зображення.

11.2 Розробка технології побудови 3D-моделі високої інформативності

Побудова тривимірної моделі у 3D Analyst

Підняття моделі виконувалось за допомогою поля «поверховість» у таблиці, атрибута теми «будівлі».

Модель відрізняється відносно невеликими трудовими та часовими витратами, її можна використовувати коли потрібна загальна тривимірна модель на якій історичні об’єкти та пам’ятки архітектури мають значення тільки в якості об’єктів, висоти яких вирізняються на загальному тлі забудови.

Під час розробки технології створення фотореалістичної тривимірної моделі міського геопростору використовувалися кілька програмних засобів:

- 3D Studio Max xx;
- ArcGIS 10.x.

11.3 Побудова тривимірної моделі у 3DS Max та експорт її у ArcGIS

У 3DStudioMax використовується технологія побудови моделей вручну за допомогою фотографій об'єкта.

Тривимірна модель, побудована у 3DStudioMax є наочною, але це окремий об'єкт, і його ще треба «поставити» на місцевість.

Щоб дізнатись, як ця модель буде виглядати серед існуючої забудови, необхідно помістити її на 3D-сцену. Для цього експортуємо отриману модель у VRML-формат, який підтримується багатьма програмними продуктами, зокрема сім'єю ArcGIS.

Далі необхідно розташувати на 3D-сцені модель як символ. Для цього в ArcMap необхідно зробити новий точковий шар.

Отриманий об'єкт буде мати характеристики точки, тому що він є її символом. Для того щоб потрібний об'єкт розпізнавався як тіло і мав характеристики полігону, його за допомогою MultiPatch перетворюють із точки на тіло (функція *Layer 3D to Feature Class*).

Отримана тривимірна модель не загубила своїх інформаційних властивостей за рахунок перетворення її на MultiPatch-об'єкт. Тобто всі властивості, характерні для полігону, всі характеристики у таблиці атрибутів зберігаються. Таким чином, модель дозволяє вирішувати всі задачі, які вирішують полігональні об'єкти.

Після завершення побудови моделей можна їх порівнювати та проводити аналіз недоліків й переваг.

Модель побудована у 3D-Analyst потребує не таких значних трудовитрат і витрат часу, але вона не містить стільки інформації, скільки модель, побудована у 3DS Max із подальшим перенесенням у ArcScene за допомогою MultiPatch. Зважаючи на те, що одним із головних замовників таких тривимірних моделей є архітектори, модель повинна бути високо деталізована. Такі високо деталізовані тривимірні моделі кварталів зможуть допомогти архітекторам автоматизувати ручну працю так, щоб під час проектування нової

будівлі можна було побудувати тривимірну модель лише цієї будівлі. А подивитись на те, як вона буде виглядати в існуючій забудові було можливо завдяки високо деталізованим тривимірним моделям кварталів міста. Модель, побудована у 3D Analyst, не є настільки інформативною зовнішньо, щоб виконувати цю функцію.

Тривимірна модель, побудована у 3DS Max, має високий ступінь реалістичності. Така модель може слугувати для ухвалення управлінських рішень, таких як дозвіл на будівництво нової будівлі. Зараз ухвалення таких рішень ускладнено і часто робиться «наосліп», тому що немає єдиної високо реалістичної і високо деталізованої тривимірної моделі хоча б центру міста.

3D-модель, побудована у 3D Analyst, не є настільки гнучкою як модель, побудована у 3DS Max з подальшим перенесенням у ArcScene. Це означає, що тривимірну модель об'єкта можна легко перенести назад у 3DS Max і внести необхідні зміни: додати об'єкти, наприклад, під час реконструкційних робіт; прибрати зайві об'єкти, наприклад, під час знесення старих будівель; змінити розміщення об'єктів відносно один одного, наприклад, для ухвалення управлінських рішень тощо.

Тривимірна модель, побудована у 3DS Max, є зовнішньо дуже привабливою. Під час побудови цієї моделі вдалось відійти від «коробок» та моделей, на яких красивими є тільки фасади. На побудованій моделі можна відрізнити навіть візерунки над вікнами, що дозволяє використовувати її у туристичному бізнесі, наприклад, під час розробки відеороликів про місто Харків, за необхідності розмістити в інтернеті рекламу про ті чи інші події, що відбуваються в місті. Також під час розробки електронних карт для туристів таку модель можна використовувати як додаткову інформацію до текстової або фотографічної інформації.

Гнучкість моделі

Одна з найважливіших переваг побудованої тривимірної моделі – її гнучкість.

Моделю легко можна імпортувати у 3DStudioMax і робити доповнення або вносити зміни.

Можливі сфери використання отриманої моделі:

- планування міської забудови;
- моніторинг у часі та реконструкційні заходи;
- навчальне використання;
- розробка та аналіз архітектурних проєктів;
- аналіз інвесторами можливих результатів проєктів;
- використання у мережі «Інтернет».

Приклад використання моделі

Задача: розробити план реконструкції будівлі.

Завдяки гнучкості і високій деталізації отриманої моделі у 3DS Max можна легко додати риштування точно на тій частині, де буде проводитись реконструкція, поставити навколо паркан тощо.

У Arcscene завдяки наочності моделі можна визначити, чи не будуть ці роботи перешкоджати проїзду сусідніми вулицями або заважати будівлям, що знаходяться навколо тощо.

Контрольні запитання

1. У чому полягає відмінність між 3D та multipatch?
2. Які вхідні дані необхідні для створення 3D-шарів у ArcGIS ?
3. Як ортофотозображення True Ortho відрізняється від звичайного?
4. Як можна використовувати створені 3D-шари в подальшому аналізі?

ТЕМА 12 СТВОРЕННЯ 3D-ШАРІВ У ARCGIS REALITY FOR ARCGIS PRO

План

12.1 Основні можливості ArcGIS Pro.

12.2 Основні переваги ArcGIS Pro.

12.3 Що таке ArcGIS Reality for ArcGIS Pro?

12.4 Етапи створення 3D-шарів у ArcGIS Reality for ArcGIS Pro.

У сучасних містобудівних, інфраструктурних та екологічних проєктах 3D-візуалізація територій набуває великого значення. ArcGIS Reality for ArcGIS Pro – це новий функціональний модуль, призначений для створення високоточної фотореалістичної 3D-моделі місцевості на основі даних аерофотозйомки, безпілотників або супутникових знімків.

ArcGIS Pro – це сучасне настільне геоінформаційне програмне забезпечення (ГІС) від компанії Esri, яке поєднує потужні аналітичні інструменти, гнучкий інтерфейс і підтримку 2D- та 3D-візуалізації. Це основний компонент платформи ArcGIS, що замінює попередні продукти, такі як ArcMap, і забезпечує інтеграцію з хмарними сервісами ArcGIS Online та ArcGIS Enterprise.

12.1 Основні можливості ArcGIS Pro

Інтегроване керування проєктами

ArcGIS Pro дозволяє зберігати карти, сцени, таблиці, макети та діаграми в межах одного проєкту (.aprx), що спрощує організацію даних та забезпечує зручний доступ до всіх компонентів дослідження.

Потужна візуалізація у 2D і 3D

Користувачі можуть створювати інтерактивні 2D-карти та 3D-сцени, включно із воксельними шарами для аналізу просторово-часових даних, таких як атмосферні або океанографічні явища.

Розширені аналітичні інструменти

Програма підтримує просторовий аналіз, геостатистику, аналіз зображень, моделювання мереж та інші види геообробки. Інструменти доступні через інтерфейс або автоматизуються за допомогою Python (ArcPy).

Гнучкий інтерфейс користувача

Інтерфейс ArcGIS Pro побудований на основі стрічки (ribbon), що адаптується до контексту виконуваних завдань. Користувачі можуть налаштовувати панелі, вікна та робочі ділянки відповідно до своїх потреб.

Інтеграція з хмарними сервісами

ArcGIS Pro дозволяє публікувати карти, шари та аналітичні результати безпосередньо в ArcGIS Online або ArcGIS Enterprise, забезпечуючи спільний доступ до даних та підтримку колективної роботи.

Підтримка різноманітних форматів даних

Програма підтримує широкий спектр векторних і растрових форматів, включно зі shapefiles, GeoTIFF, KML, а також інтеграцію з базами даних, такими як PostgreSQL/PostGIS та Oracle.

Можливості автоматизації та розширення

Користувачі можуть створювати власні інструменти та розширення за допомогою Python або .NET SDK, що дозволяє адаптувати програму до специфічних завдань та робочих процесів.

12.2 Основні переваги ArcGIS Pro

До основних переваг ArcGIS Pro належать:

- 64-розрядна архітектура, що забезпечує високу продуктивність під час оброблення великих обсягів даних;
- інтеграція з ArcGIS Online, що спрощує обмін даними та спільну роботу над проєктами;
- підтримка Python 3, яка дозволяє автоматизувати завдання та створювати складні аналітичні моделі;
- сучасний інтерфейс, що забезпечує інтуїтивно зрозумілу роботу та швидкий доступ до необхідних інструментів.

12.3 Що таке ArcGIS Reality for ArcGIS Pro

ArcGIS Reality for ArcGIS Pro – це надбудова (extension) до ArcGIS Pro, яка дозволяє:

- обробляти аерофотознімки з перекриттям (nadir/oblique);
- створювати ортофотоплани, mesh-моделі, цифрові моделі поверхні (DSM) та цифрові моделі рельєфу (DTM);
- генерувати True Ortho, 3D Mesh, Point Cloud та інші продукти.

Він підтримує обробку як вертикальних (nadir), так і похилих (oblique) знімків, що дозволяє отримувати тривимірні дані з високою деталізацією.

Основні компоненти та продукти 3D-моделювання наведені в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Компоненти та продукти 3D-моделювання

Продукт	Опис
Orthoimage	Орторектифіковане зображення з геоприв'язкою
True Ortho	Ортофото без нахилу будівель, з однаковими масштабами
DSM (цифрова модель поверхні)	Містить об'єкти: дерева, будівлі тощо
DTM (цифрова модель рельєфу)	Модель земної поверхні без штучних об'єктів
3D Mesh (Scene Layer)	Текстурована 3D-модель з високою точністю
Point Cloud	Хмара точок – основа для побудови інших моделей

Етапи створення 3D-шарів в ArcGIS Reality

Крок I. Підготовка знімків:

- зібрати зображення (формат JPEG, TIFF, RAW);
- вимоги: мінімум 60–80 % перекриття по рядах;
- вказати параметри зйомки, калібрування камери.

Крок II. Створення нового Reality Mapping проєкту:

- у ArcGIS Pro → вкладка Imagery → Reality Mapping → New Project;
- вибір типу: *Nadir, Oblique, Drone*;
- завантаження знімків і введення метаданих.

Крок III. Генерація ортофото, DSM, DTM:

- автоматична аеротріангуляція;
- обчислення положень камер;
- створення ортофото і моделей рельєфу;
- контроль якості (RMSE, перекриття, щільність точок).

Крок IV. Створення 3D Mesh:

- запуск генератора 3D Mesh;
- отримання файлів у форматі .slpk (Scene Layer Package);
- додавання моделі до 3D Scene у ArcGIS Pro.

Крок V. Експорт і публікація:

- експорт до ArcGIS Online / Portal for ArcGIS;
- публікація 3D Scene як Web Scene;
- створення вебдодатків на базі моделі.

Практичні приклади використання:

- урбаністика: створення 3D-моделей кварталів для аналізу тіней, висоти забудови, видимості;
- кадастр: оцінка об'ємів будівель, візуалізація конфліктів землекористування;
- охорона довкілля: моделювання зсувів, візуалізація водних об'єктів;
- туризм та культура: реконструкція історичних пам'яток;
- інфраструктура: перевірка взаєморозміщення об'єктів.

Переваги ArcGIS Reality:

- висока якість 3D Mesh-моделей (до 3 см/піксель);
- автоматизація обробки великих обсягів даних;
- повна інтеграція з ArcGIS Pro та ArcGIS Online;
- можливість роботи з похилими знімками (облік фасадів).

12.4 Створення 3D-шарів у ArcGIS Reality for ArcGIS Pro

Створення 3D-шарів у ArcGIS Reality for ArcGIS Pro – це поетапний процес, який дозволяє перетворити аерофотознімки (з дронів, літаків або супутників) на високоточні 3D-моделі. Ці моделі застосовуються для створення цифрових двійників, містобудівного планування, екологічного моніторингу тощо. Нижче наведено основні етапи цього процесу:

1. Створення робочого простору Reality Mapping. Робочий простір Reality Mapping – це спеціалізоване середовище у ArcGIS Pro, яке використовується для обробки зображень та генерації 3D-продуктів. Він містить усі необхідні ресурси та файли, пов'язані з конкретною колекцією зображень.

2. Імпорт зображень та метаданих. Завантажте аерофотознімки разом із відповідними метаданими, такими як таблиці кадрів та параметри камери. Це забезпечить правильне геоприв'язування та подальшу обробку зображень.

3. Блокова корекція (Block Adjustment). Виконайте фотограмметричну корекцію зображень для усунення геометричних спотворень, спричинених сенсором, платформою та рельєфом місцевості. Цей етап містить вирівнювання зображень, визначення зовнішньої та внутрішньої орієнтації, а також використання контрольних точок для підвищення точності.

4. Налаштування параметрів генерації продуктів. У вікні Reality Mapping Products Wizard виберіть типи продуктів для генерації, такі як 3D-меш, точкові хмари тощо. У розділі Shared Advanced Settings можна налаштувати параметри якості, межі продукту та інші опції для оптимізації результатів.

5. Генерація 3D-продуктів. Після налаштування параметрів запустіть процес генерації 3D-продуктів. ArcGIS Reality for ArcGIS Pro підтримує створення різних форматів, таких як SLPK, 3D Tiles та OBJ. Генерація може зайняти певний час залежно від обсягу даних та обраних параметрів.

6. Візуалізація та аналіз 3D-шарів. Після завершення обробки додайте згенеровані 3D-шари до сцени в ArcGIS Pro для візуалізації та подальшого аналізу. Це дозволить інтерактивно досліджувати модель, виконувати вимірювання, аналізувати структури та інтегрувати з іншими геопросторовими даними.

Цей процес дозволяє створювати високоякісні 3D-моделі, які можуть бути використані для різноманітних застосувань, включно із плануванням інфраструктури, управлінням земельними ресурсами, екологічним моніторингом та створенням цифрових двійників.

ArcGIS Reality for ArcGIS Pro – потужний інструмент для створення фотореалістичних тривимірних моделей. Він забезпечує точне позиціонування, високу деталізацію та ефективну інтеграцію з іншими модулями ГІС. Цей інструмент є надзвичайно корисним для муніципалітетів, архітекторів, проєктантів і землевпорядників, які потребують сучасного підходу до візуалізації просторових даних.

Контрольні запитання

1. Які основні продукти 3D-моделювання створює ArcGIS Reality?
2. Чим відрізняється True Ortho від звичайного ортофото?
3. Для чого потрібна цифрова модель поверхні (DSM)?
4. Які формати використовуються для експорту 3D-моделей в ArcGIS Reality?
5. Назвіть етапи створення 3D Mesh у ArcGIS Reality for ArcGIS Pro.

ТЕМА 13 ІНТЕГРАЦІЯ ГІС- І ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ

План

- 13.1 Проблеми взаємодії ВІМ – ГІС.
- 13.2 Переваги ВІМ, інтегрованого з ГІС.
- 13.3 Обмін інформацією про будівельні операції (COBIE).
- 13.4 Концепції CityGML.
- 13.5 Варіанти використання ВІМ – GIS.

У сучасному світі управління об'єктами нерухомості виходить за межі лише архітектурного проєктування. Необхідність моделювання просторового середовища у поєднанні з детальною інформацією про будівлі й інженерні мережі зумовила потребу інтеграції двох потужних технологій – геоінформаційних систем (ГІС) та інформаційного моделювання будівель (ВІМ). Це дозволяє створювати цифрові двійники об'єктів нерухомості, планувати інфраструктуру міст та здійснювати ефективне управління активами на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

13.1 Проблеми взаємодії ВІМ – ГІС

Попри очевидні переваги інтеграції ВІМ і ГІС, вона супроводжується низкою труднощів. По-перше, ці технології мають різні цілі: ВІМ орієнтований на детальну інформацію про об'єкт (будівлю, споруду), тоді як ГІС використовується для аналізу просторових зв'язків на ширшому рівні – від кварталу до регіону. По-друге, різні формати та структури даних ускладнюють обмін: ВІМ оперує IFC, RVT, DWG, тоді як ГІС – SHP, GDB, GeoJSON тощо. Третя проблема – це брак уніфікованих стандартів, які б підтримували автоматичну конвертацію моделей.

Інформаційне моделювання будівель дозволяє:

- створювати 3D-візуалізації для замовника;
- координувати роботу між різними дисциплінами;
- виконувати аналіз колізій;
- планувати будівництво з урахуванням часу (4D);
- розраховувати витрати на будівництво (5D);
- генерувати проєктну документацію автоматично;
- використовувати моделі як цифрові двійники для подальшої експлуатації.

Елементи BIM мають високий рівень деталізації, що робить їх придатними для технічного аналізу, проте не масштабуються для географічних задач великого рівня.

Для процесу інтеграції BIM-GIS необхідно перевірити такі пункти:

- координатна система повинна бути визначена правильно для забезпечення безпосередньої передачі даних до/із систем GIS;
- усі об'єкти BIM-моделей правильно моделюються та відповідають необхідному рівню деталізації та інформації (LOI).

13.2 Переваги BIM, інтегрованого із ГІС

Інтеграція інформаційного моделювання будівель (BIM) і геоінформаційних систем (GIS) пропонує широкий спектр переваг для індустрії архітектури, проєктування та будівництва (AEC). Деякі з ключових переваг містять:

- покращена візуалізація даних: BIM надає детальні 3D-моделі будівель та їх елементів, а ГІС пропонує геопросторові дані; інтеграція цих двох системних даних для комплексного уявлення про проєкти допомагає зацікавленим сторонам краще зрозуміти їхній контекст;
- покращене ухвалення рішень: поєднуючи дані BIM для проєктування та будівництва з географічним контекстом ГІС, зацікавлені сторони можуть

ухвалювати більш обґрунтовані рішення (це неоціненне значення для міського планування, будівництва та ліквідації наслідків стихійних лих);

- точний вибір місця: дані ГІС можуть надати важливу інформацію про придатність ділянки для будівництва чи розвитку; інтеграція даних ГІС із BIM допомагає визначити потенційні проблеми та можливості, зменшуючи ризики проєкту;

- оптимізований дизайн і конструкція: інтеграція BIM із ГІС покращує процес проєктування, враховуючи географію реального світу. Це дозволяє архітекторам та інженерам проєктувати конструкції, які ідеально вписуються у навколишнє середовище;

- стійкість і вплив на навколишнє середовище: інтеграція дозволяє краще оцінити вплив проєкту на навколишнє середовище; це вкрай важливо для сталого міського розвитку та дотримання екологічних норм;

- управління активами: інтеграція BIM із ГІС допомагає в ефективному управлінні активами для менеджерів і власників об'єктів; це дозволяє відстежувати місцезнаходження та стан активів у режимі реального часу, оптимізуючи технічне обслуговування та зменшуючи витрати;

- планування та управління інфраструктурою: в інфраструктурних проєктах, таких як транспорт і комунальні послуги, інтеграція допомагає в плануванні маршрутів, управлінні активами та розкладі технічного обслуговування;

- співпраця: інтеграція BIM із ГІС сприяє співпраці між міждисциплінарними проєктними командами, включно із архітекторами, інженерами, містобудівниками і спеціалістами з ГІС (цей міждисциплінарний підхід гарантує більш точне та ефективне виконання проєктів);

- статистика на основі даних: об'єднані дані з BIM та ГІС дозволяють професіоналам у будівництві виконувати розширену аналітику та процеси моделювання; це допомагає прогнозувати технічне обслуговування, оптимізувати розподіл ресурсів і вдосконалювати стратегії розвитку міст;

- економія коштів: інтеграція BIM із ГІС може привести до значної економії коштів протягом життєвого циклу проєкту, забезпечуючи безпомилкову оптимізовану конструкцію будівель і кращу координацію проєкту;

- відповідність нормативним вимогам: інтеграція допомагає будівельним компаніям легше дотримуватися місцевих правил і стандартів, використовуючи інтегровані дані BIM та ГІС для демонстрації відповідності протягом усього проєкту;

- готовність до катастроф і реагування: дані ГІС життєво важливі для оцінки ризиків, пов'язаних зі стихійними лихами; під час інтеграції з BIM це може допомогти у розробці більш стійкої інфраструктури та вдосконаленні стратегій реагування на катастрофи.

Інтеграція BIM і ГІС є потужним інструментом для підвищення ефективності проєкту, стійкості та ухвалення рішень у багатьох галузях, від будівництва та міського планування до управління об'єктами та реагування на стихійні лиха. Це стратегічна інвестиція, яка може привести до значних довгострокових переваг.

BIM не може бути повноцінною альтернативою ГІС через такі причини:

- не підтримує масштабованість для великих територій (наприклад, у межах міста);
- працює переважно з файлами, тоді як ГІС оперує базами даних і веб-сервісами;
- не має гнучкого інструментарію просторового аналізу;
- не має підтримки роботи з великою кількістю користувачів одночасно.

13.3 Обмін інформацією про будівельні операції (COBIE)

COBie (Construction-Operations Building Information Exchange) – формат обміну табличними даними між BIM і системами управління об'єктами (CMMS, CAFM, GIS).

COBie: інноваційний підхід до обміну інформацією в будівництві

Специфікація Construction Operations Building Information Exchange (COBie) – це сучасний інструмент збору та обміну інформацією в процесі будівництва, який сприяє спрощенню передачі даних між усіма учасниками проєкту. Основна мета COBie – зменшення залежності від великого обсягу паперової документації, що традиційно накопичується після завершення будівельних робіт, шляхом запровадження цифрового обміну інформацією.

Використання COBie підвищує ефективність будівельного процесу за рахунок автоматизації збору та обробки даних, що, зі свого боку, сприяє скороченню експлуатаційних витрат. Особливістю методології є фіксація інформації в реальному часі, що дозволяє уникнути ретроспективного збору даних і гарантує їхню актуальність, точність та повноту на всіх етапах життєвого циклу будівлі.

COBie є важливим інструментом в управлінні об'єктами нерухомості, забезпечуючи перехід від традиційної паперової документації до цифрового структурованого середовища, сумісного з CAFM-системами. COBie – це формат електронної таблиці XML, що містить набір стандартизованих вкладок з інформацією про будівлю: поверхи, приміщення, системи, обладнання, документацію тощо.

Завдяки чіткому структуруванню даних COBie забезпечує ефективне управління активами протягом усього життєвого циклу об'єкта, зменшуючи витрати на його експлуатацію та обслуговування. Формат став ключовим компонентом реалізації концепції BIM другого рівня. Уряд Великої Британії офіційно підтримує COBie як основний формат обміну інформацією в будівельних проєктах для забезпечення кращого управління даними.

COBie дозволяє детально описувати просторове розташування обладнання та його технічне обслуговування. Дані, що збираються за допомогою COBie, можуть експортуватися з програмного забезпечення BIM у системи управління об'єктами. Передача даних здійснюється протягом усіх етапів проєктування, будівництва та впровадження об'єкта в експлуатацію. У

плані реалізації BIM-проєкту (BEP) визначається, яку саме інформацію потрібно надати на кожному етапі. Зазвичай COBie-пакет формується у вигляді текстового файлу, що забезпечує зручний та уніфікований обмін даними.

Стандарт COBie був розроблений Інженерним корпусом армії США, вперше поданий як пілотний у 2007 році та визнаний офіційним елементом Національної інформаційної моделі будівель США у 2011 році. Того ж року уряд Великобританії оприлюднив BIM-стратегію, яка передбачала обов'язкове впровадження спільного 3D BIM для всіх державних проєктів до 2016 року. COBie став важливою частиною цієї стратегії, виступаючи синонімом ефективного цифрового обміну даними.

Важливо підкреслити, що COBie визначає лише структуру та формат інформації. Його шаблони є ключовими інструментами для забезпечення обміну даними. Підтримка COBie зростає як у BIM-програмному забезпеченні, так і в комп'ютеризованих системах управління технічним обслуговуванням, що свідчить про його зростаюче значення у сучасній будівельній практиці.

Типова електронна таблиця COBie містить аркуші, присвячені окремим категоріям даних, зокрема об'єктам, поверхам, просторам, компонентам, типам, системам, зонам, атрибутам, контактам, документам, роботам, ресурсам та збіркам. Завдяки такій деталізації забезпечується повне охоплення всіх аспектів життєвого циклу об'єкта – від проєктування до обслуговування.

13.4 Концепції CityGML

CityGML – геопросторова інформаційна модель, яка дозволяє описувати 3D-міста, ландшафти, будівлі з різним рівнем деталізації (LOD 0–4).

CityGML – це відкрита стандартизована модель даних і формат обміну для зберігання цифрових 3D-моделей міст і ландшафтів. Він визначає способи опису більшості загальних 3D-функцій і об'єктів, що зустрічаються у містах, і взаємозв'язків між ними.

CityGML 3.0: основа для цифрових двійників міст

CityGML – це відкритий стандарт моделювання та обміну тривимірними геопросторовими даними міст. Він забезпечує єдину концептуальну модель для подання будівель, об'єктів інфраструктури, ландшафтів та їхніх взаємозв'язків. Стандарт широко використовується в задачах Smart City, цифрових двійниках (Urban Digital Twins), BIM-інтеграції, енергетичному та транспортному моделюванні, навігації, управлінні ризиками тощо.

CityGML 3.0 є новою редакцією стандарту, яка розширює можливості попередніх версій (1.0 та 2.0). Основні переваги CityGML 3.0:

- підтримка різних форматів кодування: GML/XML, JSON, бази даних;
- краща інтеграція з BIM;
- опис внутрішніх просторів на декількох рівнях деталізації (LOD);
- підтримка динамічних даних від сенсорів та симуляцій;
- розширюваність за допомогою Model Driven Architecture (MDA).

На відміну від попередніх версій, які фокусувалися на форматі обміну (GML), CityGML 3.0 визначає концептуальну модель, яку можна реалізувати в різних технологіях. Це забезпечує кращу адаптивність стандарту до майбутніх цифрових платформ.

Хоча специфікація кодування GML для CityGML 3.0 ще перебуває в розробці, її активне впровадження вже розпочалося. Дані, створені у версіях 1.0 і 2.0, залишаються актуальними, але можуть бути оновлені до нової версії для забезпечення більшої сумісності та функціональності.

IFC (Industry Foundation Classes) – формат, що дозволяє частково забезпечити обмін даними між CAD/BIM системами.

13.5 Варіанти використання BIM-GIS

Планування та проектування:

- вибір місця розташування об'єкта;
- аналіз ґрунтів, геології, зонування;
- аналіз доступності транспорту;

- візуалізація будівель у міському середовищі;
- сонячний аналіз, ерозія, дренаж.

Будівництво:

- планування графіків і логістики;
- координація підрядників;
- моніторинг виконання.

Експлуатація:

- управління технічним обслуговуванням;
- моніторинг внутрішніх систем (MEP);
- аналіз енергоефективності;
- оптимізація простору.

Реновація:

- реконструкція існуючих будівель;
- перепрофілювання приміщень;
- актуалізація планів.

Інтеграція BIM і ГІС відкриває нові можливості для управління об'єктами нерухомості, дає змогу перейти від ізолюваного проєктування до комплексного просторово-орієнтованого підходу. ArcGIS GeoBIM стає ключовим інструментом для створення цифрових двійників, підтримки експлуатації та ухвалення обґрунтованих рішень.

Контрольні запитання

1. У чому полягають основні проблеми інтеграції BIM та ГІС?
2. Які переваги надає використання BIM порівняно з традиційним проєктуванням?
3. Чому BIM не може повноцінно замінити ГІС?
4. Яке значення має формат CityGML для просторового моделювання міських об'єктів?
5. Які можливості надає ArcGIS GeoBIM для управління об'єктами нерухомості?

ТЕМА 14 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ARCGIS GEOBIM

План

14.1 Ключові робочі процеси для впровадження моделі BIM у ГІС.

14.2 Зміна інформації про активи як частина процесу життєвого циклу (редагування та маніпулювання).

14.2 Покроковий процес моделювання об'єктів нерухомості в ArcGIS GeoBIM.

14.1 Ключові робочі процеси для впровадження моделі BIM у ГІС

Сучасні міста стикаються з різноманітними проблемами, пов'язаними зі стійкістю їхньої критичної інфраструктури – від доріг і мостів до споруд. Старі об'єкти інфраструктури, які все ще експлуатуються, часто не мають надійних цифрових даних про проектування чи будівництво. У найближчі місяці та роки об'єкти критичної інфраструктури потрібно буде перебудовувати або вдосконалювати, залишаючись при цьому активною частиною безперервної системи.

Для ефективного управління величезною кількістю цих об'єктів необхідний ефективний процес їх постійного оновлення, експлуатації та обслуговування. Для вирішення цих проблем усі побудовані споруди потребують кращого способу управління протягом усього їхнього життєвого циклу. Розумніше планування, проектування, будівництво, експлуатація та обслуговування (O&M) об'єктів інфраструктури вимагають від урядів та архітектурно-інженерних та будівельних (АЕС) фірм інвестувати в оптимізацію потоку інформації між будівельними та експлуатаційними даними. Гарна новина полягає в тому, що цього можна досягти завдяки інтеграції даних BIM (інформаційного моделювання будівель) та ГІС (географічних інформаційних систем).

Важливою вимогою для поєднання ГІС та ВІМ є оптимізація обміну даними між ВІМ, САД та геопросторовими даними. Інтеграція проєктних та геопросторових даних стає очікуваною в галузі АЕС у всьому світі. Загальні формати ВІМ та САД все частіше використовуються в ArcGIS для підтримки робочих процесів планування, будівництва, експлуатації, інспекцій та обслуговування.

Можливості використання даних ВІМ у ArcGIS виходять за рамки інтеграції ВІМ-контенту з різних дисциплін, джерел та програм у різні робочі процеси життєвого циклу активів. Завдяки конвергенції ГІС та ВІМ, платформа ArcGIS є привабливим рішенням для компаній АЕС для кращого управління проєктами та інфраструктурою в просторовому (реальному) контексті.

Інженерні та будівельні плани, дані ГІС та ВІМ, а також дані 3D-контексту тепер можна зберігати та використовувати в одному місці. Це середовище для співпраці може надати цінну інформацію, одночасно зближуючи персонал в офісі та на місцях. Суть полягає в тому, що всі проєктні команди можуть оптимізувати свої робочі процеси, щоб заощадити час, витрати та витрати. Ці робочі процеси можуть варіюватися від використання даних ВІМ шляхом прямого імпорту або через хмару до обміну даними для перегляду, редагування або обслуговування у ГІС. Щоб визначити, «як» та «де» будується об'єкт, дані ВІМ додають реальної цінності в аналітичних сценаріях. Атрибути та деталі набору даних ВІМ дозволяють впроваджувати управління активами в ArcGIS.

Зрештою інтеграція ГІС та ВІМ призводить до кращих можливостей та результатів для громад і ефективніших проєктів для постачальників послуг.

Давайте детальніше розглянемо ключові робочі процеси для впровадження моделі ВІМ у ГІС.

Під час інтегрування моделі ВІМ у ArcGIS вона може стати частиною етапу планування та проєктування, стратегії будівництва та реалізації проєкту, а також етапу експлуатації та обслуговування. У межах партнерства між Esri та Autodesk було налаштовано пряме посилання на хмарні репозиторії (Autodesk

Construction Cloud® та BIM 360®), що з'єднує два різні середовища. Модель можна переглядати безпосередньо в контексті з усіма іншими даними проєкту, включно із геопросторовими даними, даними будівництва та безпеки, даними фіксації реальності тощо. Це основа для створення цифрового двійника, який можна використовувати для управління успіхом проєкту або самими активами.

Після того, як ви використали ArcGIS Pro для вашого BIM-контенту та публікації моделей, ви можете створювати потужні нові вебдодатки. Публікація BIM-контенту як вебшарів у ArcGIS Online (або ArcGIS Enterprise) та вбудовування їх у вебсцени допомагає передати дані всім зацікавленим сторонам та командам. Створення готових картографічних вебдодатків для кінцевих користувачів за допомогою Experience Builder або Web AppBuilder трансформує робочі процеси в межах життєвого циклу активів та дозволяє використовувати цей високотехнічний контент нетехнічним користувачам для покращення розуміння та співпраці між зацікавленими сторонами.

Створення веб-шарів, таких як шари сцени будівництва (потоківі файли I3S), може бути важливим джерелом даних для багатьох професійних додатків Esri:

- Scene Viewer надає набір інструментів, який дозволяє навігацію по набору даних BIM на основі його структури та атрибутів;
- ArcGIS Urban надає детальну інформацію про сценарії міського планування;
- ArcGIS GeoBIM надає контекст для активів, одночасно під'єднуючись до інструментів будівництва та проєктування у світі Autodesk.

14.2 Зміна інформації про активи як частина процесу життєвого циклу (редагування та маніпулювання)

Важливим аспектом використання та надання інформації є підтримка актуальності всього циклу даних. За допомогою ArcGIS ви можете легко оновлювати шари сцени найновішою інформацією з інструментів проєктування

та будівництва. Це дозволяє користувачам підключених вебзастосунків та інструментів працювати з найактуальнішою інформацією.

ArcGIS GeoBIM – це хмарна платформа від *Esri*, яка інтегрує геоінформаційні системи (GIS) з інформаційним моделюванням будівель (BIM). Вона дозволяє об'єднувати просторові дані з інженерною документацією для ефективного управління проєктами нерухомості та інфраструктури.

Ключові можливості:

- геоприв'язка BIM-даних: автоматичне розміщення BIM-моделей, документів та проблем у географічному контексті;
- інтеграція з Autodesk: зв'язок даних з Autodesk BIM 360 або Autodesk Construction Cloud для доступу до детальної інформації після географічного розміщення;
- конфігуровані додатки: створення додатків для запитів, візуалізації та перегляду інженерної документації та проблем;
- спільна робота: координація дизайну, планування та управління проблемами між командами;
- візуалізація: одночасне відображення географічних об'єктів та BIM-моделей для розуміння контексту проєктів;
- управління проблемами: використання інформаційних панелей для візуалізації ризиків, безпеки та продуктивності в одному або кількох BIM-проєктах;
- інтеграція з польовими операціями: зв'язок із ArcGIS Field Maps для операцій на місцевості.

Застосування в моделюванні об'єктів нерухомості

ArcGIS GeoBIM надає можливість створення цифрових двійників об'єктів нерухомості, що містить:

- візуалізацію у 3D: створення детальних 3D-моделей будівель для віртуальних турів та аналізу;

- управління життєвим циклом: відстеження етапів проєкту від планування до експлуатації;
- аналіз ризиків та витрат: оцінку потенційних ризиків та витрат на різних етапах проєкту;
- спільну роботу: забезпечення доступу до актуальної інформації для всіх учасників проєкту.

Процес створення проєкту в ArcGIS GeoBIM

Кроки:

1. Створення проєкту: в ArcGIS GeoBIM Project Manager створюється новий проєкт.
2. Підключення облікових записів: зв'язок з обліковими записами Autodesk для доступу до BIM-даних.
3. Налаштування інструментів: вибір інструментів та налаштування додатків для візуалізації та аналізу.
4. Зв'язок із картами: інтеграція з веб-картами та сценами для географічного контексту.
5. Створення додатків: розробка конфігурованих додатків для взаємодії з даними проєкту.

Переваги для управління нерухомістю:

- цілісне бачення: об'єднання просторових та інженерних даних для повного розуміння проєкту;
- покращене ухвалення рішень: доступ до актуальної інформації сприяє обґрунтованим рішенням;
- ефективність: зменшення часу на пошук інформації та координацію між командами;
- гнучкість: можливість адаптації до змін у проєкті та швидке реагування на проблеми.

Приклади використання:

- управління портфелем об’єктів: візуалізація та аналіз розташування об’єктів нерухомості для стратегічного планування;
- реновація будівель: оцінка стану будівель та планування ремонтних робіт з урахуванням географічного контексту;
- інфраструктурні проєкти: координація будівництва та обслуговування інфраструктури з урахуванням просторових даних.

14.3 Покроковий процес моделювання об’єктів нерухомості у ArcGIS GeoBIM

Крок I. Підготовка вихідних даних:

1. Створення або наявність BIM-моделі:

- модель об’єкта нерухомості повинна бути створена в Autodesk Revit або іншому BIM-середовищі, що підтримується;
- модель повинна бути завантажена в Autodesk Construction Cloud (ACC) або BIM 360 Docs.

2. Підготовка геоданих. Потрібно мати відповідні геопросторові дані в ArcGIS Online або ArcGIS Enterprise (наприклад, кадастрові межі, топографічні карти, дані зонування).

Крок II. Створення GeoBIM-проєкту:

1. Відкриття ArcGIS GeoBIM: увійдіть у ArcGIS GeoBIM з обліковим записом організації.
2. Створення нового проєкту:
 - оберіть опцію **Create New GeoBIM Project**;
 - задайте назву, опис і оберіть відповідну мапу або сцену (2D або 3D), яка містить геопросторовий контекст для проєкту.

Крок III. Підключення BIM-даних з Autodesk:

1. Авторизація Autodesk-акаунта. Потрібно надати ArcGIS GeoBIM доступ до вашого Autodesk-акаунта для взаємодії з BIM 360 / ACC.

2. Вибір проєкту BIM. Оберіть BIM-проєкт у хмарному середовищі Autodesk, який буде інтегровано до GeoBIM-проєкту.

3. Поєднання об'єктів. Поєднайте конкретні моделі (наприклад, окремі будівлі або конструктивні елементи) з географічними об'єктами.

Крок IV. Геоприв'язка BIM-моделей:

1. Розміщення BIM-моделі на мапі: можна задати координати вручну або використати попередньо визначене розміщення.

Використовується **GeoBIM Link Chart** для візуалізації зв'язку між просторовими об'єктами і BIM-моделлю.

2. Перевірка геоприв'язки: підтвердьте, що модель точно відповідає положенню об'єкта на місцевості.

Крок V. Створення конфігурованого додатка:

1. Налаштування інтерфейсу. Оберіть компоненти: карту, сцену, панель атрибутів, панель документації, переглядач моделей.

2. Інтеграція з Autodesk Viewer. Для інтерактивного перегляду BIM-моделі (3D) безпосередньо в додатку GeoBIM.

3. Збереження і публікація. Додаток зберігається як вебзастосунок, який можна надавати користувачам для перегляду і взаємодії.

Крок VI. Аналіз та управління:

1. Перегляд моделі у просторі. Інтерактивне поєднання 3D BIM-моделі з GIS-даними (землекористування, комунікації, навколишнє середовище).

2. Аналіз проблем. Візуалізація та управління виявленими проблемами, прив'язаними до геолокації.

3. Оновлення даних. Внесення змін у BIM-модель або GIS-дані автоматично оновлює зв'язки у GeoBIM.

Результат. Ви отримаєте інтегровану інформаційну модель об'єкта нерухомості, яка дозволяє:

– візуалізувати об'єкт у геопросторовому контексті;

- проводити аналіз взаємозв'язків з іншими об'єктами та інфраструктурою;
- підвищити ефективність управління протягом усього життєвого циклу об'єкта.

Контрольні запитання

1. Що таке ArcGIS GeoBIM і які його основні функції?
2. Як ArcGIS GeoBIM інтегрує GIS та BIM-дані?
3. Які переваги надає використання ArcGIS GeoBIM у моделюванні об'єктів нерухомості?
4. Опишіть процес створення проєкту в ArcGIS GeoBIM.
5. Наведіть приклади практичного використання ArcGIS GeoBIM у сфері нерухомості.

ТЕМА 15 НОВІ ІДЕЇ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ РЕАЛЬНОСТІ

План

- 15.1 Створення цифрової реальності.
- 15.2 Застосування наземного лазерного сканера.
- 15.3 Лідарне знімання.
- 15.4 Мобільне лазерне сканування.
- 15.5 Автоматичне розпізнавання об'єктів.
- 15.6 Доповнена реальність.
- 15.7 Переваги та недоліки методики.

У сучасному світі стрімкий розвиток цифрових технологій відкриває нові горизонти в галузі геопросторового аналізу, містобудування, моніторингу інфраструктури та управління територіями. Одним із ключових напрямів цього розвитку є створення **цифрової реальності** – точної цифрової копії фізичного світу, яка дає змогу здійснювати проєктування, моделювання, аналіз і ухвалення рішень з високим рівнем деталізації та достовірності.

15.1 Створення цифрової реальності

Цифрова реальність формується на основі **тривимірного сканування територій**, об'єктів інфраструктури та будівель. Отримані дані інтегруються у **віртуальне середовище**, що дозволяє:

- візуалізувати інженерні комунікації;
- планувати нові об'єкти;
- проводити реконструкцію існуючих споруд;
- створювати цифрових двійників міст.

Особливо важливу роль у створенні цифрової реальності відіграють лазерні сканери, лідарні системи, мобільні сканувальні платформи, а також засоби доповненої реальності.

15.2 Застосування наземного лазерного сканера

Наземне лазерне сканування (TLS, Terrestrial Laser Scanning) – це технологія, яка дозволяє з високою точністю створити хмару точок, що відображає об'єкти в реальному середовищі.

Лазерний сканер – це високотехнологічний прилад для виконання наземної зйомки шляхом отримання високоточної хмари точок великої густини. На відміну від традиційної методики знімальних робіт, участь інженера в процесі мінімальна, що дозволяє працювати у несприятливих умовах та у повній темряві. Також важливим фактором є швидкість – повна зйомка з однієї станції виконується протягом декількох хвилин, що дозволяє вести зйомку без зупинки виробництва, а великий обсяг надлишкових даних гарантує мінімальний вплив випадкових перешкод.

У 2025 році наш університет отримав сканер Leica RTC360. Leica RTC360 – це новий наземний лазерний 3D-сканер від Leica Geosystems, який має компактний дизайн і виконує сканування зі швидкістю до 2 млн точок в секунду, що в два рази швидше, ніж будь-коли раніше! Цей прилад є професійним рішенням і підходить для роботи як в офісі, так і в польових умовах. Так само, як і BLK360 мобільний сканер RTC360 гранично простий у застосуванні і з легкістю виконає високопродуктивне сканування об'єктів на відстані до 130 метрів, генеруючи кольорову тривимірну HDR-хмару точок менш ніж за 2 хвилини.

Вбудована інерціальна система VIS (Visual Inertial System), GNSS-сенсори, компас і висотомір фіксують переміщення станції сканування і виконують **автоматичну прив'язку** до опорних точок, істотно спрощуючи обробку польових результатів в офісі і дозволяючи економити ваш час.

Використовуємо високоавтоматизований портативний 3D-сканер RTC360 спільно з польовим програмним забезпеченням Leica Cyclone FIELD 360 для мобільних пристроїв для автоматичної реєстрації сканів у режимі реального часу і Leica Cyclone REGISTER 360 для швидкого і точного порівняння хмар точок, зроблених з різних пунктів зйомки.

Переваги:

- висока точність вимірювань;
- можливість детальної реконструкції об'єктів;
- зручність для планування будівництва та реконструкцій.

Застосування:

1. Криміналістика. Оперативний і точний збір даних дозволяє поліції прискорити збір доказів для аналізу місця злочину або дорожньо-транспортної пригоди (ДТП). Компактні розміри лазерного сканера RTC360 і стандарт пиловологого захисту IP54 дозволяють проводити 3D-сканування оперативно і просто за різних погодних умов.

2. Архітектура, будівництво та BIM. Впровадження BIM-стандартів у проектуванні і будівництві вимагає змінити підходи до збору даних. Технологія лазерного сканування повністю задовольняє вимогам у цій сфері, оскільки дозволяє отримати максимальну кількість даних за одиницю часу без втрати якості. Що, зі свого боку, дає можливість оперативно відслідковувати ситуацію на будівельному майданчику і вчасно впроваджувати необхідні корективи, зберігаючи час і кошти. Портативний дизайн сканера Leica RTC360 і легкий телескопічний штатив дозволяють компактно упакувати сканер у звичайний рюкзак і виконати сканування оперативно і просто.

3. Маркшейдерія і калібрування резервуарів. Визначення обсягів насипів і поглиблень за лічені хвилини, побудова горизонталей і фігур резервуарів, розрахунок обсягу з кроком у 1 мм – все це стало можливим із застосуванням технології лазерного сканування. Важливо відзначити, що керування сканером RTC360 може здійснюватися дистанційно за допомогою планшета, що максимально убезпечить і спростить вашу роботу. Компактний розмір приладу

відкриває для вас нові можливості лазерного сканування з приладами Leica Geosystems.

4. Промисловість і цивільна інфраструктура. Для зйомки 3D-геометрії автодоріг або рейкових шляхів, тунелів, мостів та інших об'єктів забудованої території необхідно мати прилад, що поєднує швидкість, точність і надійність. Для створення серйозних інженерних та інфраструктурних проєктів лазерний сканер RTC360 – це правильний вибір, тому що кожна деталь має значення.

5. Цифрова 3D-реальність. Сканер Leica RTC360 може стати відмінним рішенням для створення віртуальної реальності VR і доповненої реальності AR. Віддалена демонстрація реалізації проєкту для інвесторів, контроль процесу будівництва, перегляд квартир і будинків в агентствах нерухомості, перегляд готелів та благоустрою прилеглої території в турагентствах, тест-драйв нових автомобілів, шоуруми і багато іншого. За допомогою RTC360 можуть бути створені цифрові двійники будь-яких об'єктів.

15.3 Лідарне знімання (LiDAR)

Лідар (Light Detection and Ranging) – це метод дистанційного зондування, що забезпечує зйомку з повітря за допомогою імпульсів лазера. Лідар (транслітерація LIDAR, англ. Light Identification, Detection and Ranging) – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Лідар як прилад – це активний далекомір оптичного діапазону. Сканувальні лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору. «Атмосферні» лідари здатні не тільки визначати відстані до непрозорих цілей, що відбивають світло, а й аналізувати властивості прозорого середовища, що розсіює світло. Різновидом атмосферних лідарів є доплерівські лідари, що визначають

напрямок і швидкість переміщення повітряних потоків у різних шарах атмосфери.

Усталений переклад LIDAR як «лазерний радар» не цілком коректний, тому що в системах ближнього радіуса дії (наприклад, призначених для роботи у приміщеннях), головні властивості лазера (когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання) не затребувані, а випромінювачами світла в таких системах можуть бути звичайні світлодіоди. Однак в основних сферах застосування технології (дослідженні атмосфери, геодезії та картографії) з радіусами дії від сотень метрів до сотень кілометрів застосування лазерів неминуче.

Переваги:

- швидке охоплення великих площ;
- можливість збору даних у важкодоступних місцях;
- висока точність топографічної інформації.

Застосування:

- доповнення даних наземного сканування;
- аналіз рельєфу та природних умов;
- містобудівне планування.

15.4 Мобільне лазерне сканування

Мобільне сканування виконується з автомобілів, оснащених системами 360° камер, лідарів та GPS-навігації.

На сьогодні така технологія як лазерне сканування зайняла свої міцні позиції в безлічі таких різноманітних галузей, як: гірнича справа і промисловість, архітектура і дизайн, криміналістика, будівництво та BIM-інжиніринг, геодезія і топографія, археологія і кінематограф. Це обумовлено високою точністю і швидкістю отримання даних про навколишнє середовище. Наприклад, раніше проведення архітектурних обмірів старовинної будівлі з безліччю декоративних елементів могло займати до декількох тижнів

копіткої роботи, натомість сьогодні за допомогою лазерного 3D-сканера це завдання можна вирішити за лічені дні, а часом і години.

Світ не стоїть на місці, розвиток не припиняється. Цифровізація не тільки окремих елементів, а й цілих міст – вже не футуризм, а реальність сучасних мегаполісів і великих міст. Мобільний сканер-рюкзак Leica Pegasus: Backpack був створений інженерами швейцарської компанії Leica Geosystems саме з цією метою – для швидкого створення і оновлення реалістичних 3D-даних про місто: на землі, у приміщенні і під землею (сканування печер, тунелів).

Leica Pegasus: Backpack – це переносна платформа, виконана у вигляді рюкзака і призначена для відтворення реальності в цифровому вигляді. Високо ергономічний дизайн поєднує у собі п'ять камер з кутом огляду у 360° і два лазерні сканери на ультралегкому шасі з вуглецевого волокна. Швидкість сканування становить 600 000 точок на секунду на відстані 50 м. Сканувальна система Pegasus: Backpack забезпечує масштабну й ефективну зйомку як всередині об'єктів (приміщень), так і зовні з точністю, гідною професіоналів.

Сканер Pegasus: Backpack – унікальне мобільне рішення, призначене для швидкого і безперервного отримання інформації про реальність. Прилад можна легко переносити. Під час встановлення чотирьох батарей установка важить 11,9 кг. Роботи акумуляторів вистачає на три години безперервного сканування, однак цей час можна збільшити, оскільки Pegasus: Backpack підтримує функцію «гарячої» заміни блоку живлення.

Формат рюкзака дозволяє:

- позбутися від громіздкого штатива і суттєво підвищити швидкість, обсяги сканування порівняно з використанням класичного наземного лазерного 3D-сканера (Leica RTC360, Leica BLK360 та Leica ScanStation);

- мати «вільні руки», як під час роботи з ручним 3D-сканером (Leica BLK2GO);

– якісно відсканувати такі об’єкти, до яких неможливо або важко дістатися на автомобілі, як у випадку з мобільною сканувальною системою (Leica Pegasus: Two, Leica Pegasus: Swift).

Тривимірні моделі будинків, вулиць, міст. Сканувальна система Pegasus: Backpack створена для об’єктів, які можна повністю обійти пішки. Ви можете здійснювати сканування як всередині, так і зовні об’єкта, здійснювати зйомку як підоснову моделі BIM (Building Information Model) або її перевірку під час будівництва. Крім того, мобільна установка дозволяє проводити зйомку міських районів або об’єктів із обмеженим доступом, здійснювати картографування підземних інфраструктур, якщо вони не нанесені на карту, аж до створення повного набору даних для ГІС для будь-якої території.

Синхронізація даних і точне позиціонування. Із платформою Pegasus: Backpack лазерна 3D-зйомка у приміщенні, на відкритому повітрі, під землею, у будь-якому місці і будь-де стає реальністю. Leica Pegasus: Backpack синхронізує дані зображень і точок хмари, тому забезпечує повне відображення будівлі у цифровому вигляді, що дозволяє здійснювати повний контроль над життєвим циклом об’єкта. Технологія SLAM (Simultaneous Localization and Mapping – «Одночасне позиціонування і зйомка») і високоточний IMU-сенсор забезпечують точне позиціонування навіть за браком GNSS-сигналів. Після десяти хвилин ходіння без використання контрольних точок забезпечується точність від 5 см до 50 см.

Фактори, що впливають на точність позиціонування під час внутрішнього сканування:

- невеликі кімнати і коридори;
- необхідність повороту під час ходіння;
- сходи та нерівні тротуари;
- гладкі або прозорі поверхні;
- швидке вертикальне переміщення (неможлива зйомка у ліфті).

Приклади використання:

- сканування вулиць;

- створення панорам із інтервалом 5–10 метрів;
- моніторинг стану дорожнього тору та інфраструктури.

Переваги:

- висока швидкість збору даних;
- поєднання з навігаційними системами;
- можливість охоплення великих територій за короткий час.

15.5 Автоматичне розпізнавання об’єктів

На основі обробки хмари точок та панорам реалізується автоматичне виділення об’єктів:

- дорожніх знаків;
- світлофорів;
- зупинок;
- незаконної реклами;
- інженерних мереж.

Інструменти на основі ШІ дозволяють:

- виявляти порушення (наприклад, захоплення земель);
- виявляти незареєстровані об’єкти оподаткування;
- здійснювати моніторинг підрядних робіт;
- проводити інвентаризацію об’єктів у ручному й автоматичному режимі.

15.6 Доповнена реальність (AR)

Доповнена реальність – це накладання віртуальних 3D-об’єктів на реальний простір у режимі реального часу.

Застосування AR у цифровій реальності:

- планування нової забудови;
- візуалізація реконструкції об’єктів;
- обслуговування мереж у міському середовищі.

AR дозволяє:

- будувати 3D-моделі будівель у реальному масштабі;
- взаємодіяти з віртуальними об'єктами в реальному просторі;
- покращити ухвалення рішень на основі візуального аналізу.

15.7 Переваги та недоліки методики

Переваги:

- висока точність та деталізація моделей;
- автоматизація збору та обробки даних;
- ефективний контроль за підрядниками та станом інфраструктури;
- можливість швидкої інвентаризації;
- інтеграція з кадастрами та BIM;
- візуалізація планів у доповненій реальності.

Недоліки:

- висока вартість обладнання та програмного забезпечення;
- необхідність високої обчислювальної потужності;
- потреба у підготовлених спеціалістах;
- великі обсяги даних, що вимагають структурованого зберігання;
- обмеження за погодними умовами для деяких типів сканування.

Ідеї створення цифрової реальності відкривають нові підходи до керування простором, дозволяючи бачити та аналізувати світ у тривимірному цифровому форматі. Застосування лазерного та лідарного сканування, мобільних платформ, доповненої реальності та алгоритмів автоматичного розпізнавання створює передумови для формування **розумних міст**, підвищення **ефективності керування інфраструктурою** та покращення **якісного міського планування**.

Контрольні запитання

1. У чому полягає принцип роботи наземного лазерного сканування та які його основні сфери застосування?
2. Які переваги має лідарне знімання порівняно з традиційними методами збору геопросторових даних?
3. Що таке мобільне лазерне сканування та в яких випадках його доцільно використовувати?
4. Які об'єкти можуть бути автоматично розпізнані в хмарах точок і панорамах за допомогою спеціалізованих алгоритмів?
5. Які переваги й обмеження має використання доповненої реальності під час створення цифрових моделей міського середовища?

ТЕМА 16 ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА 3D-КАРТОГРАФІЇ У МОДЕЛЮВАННІ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ

План

16.1 Потенціал технологій штучного інтелекту та 3D-картографії у моделюванні об'єктів нерухомості.

16.2 Штучний інтелект у моделюванні об'єктів нерухомості.

16.3 Технології 3D-картографії.

16.4 Геоінформаційний аналіз і штучний інтелект у сучасних ГІС.

З січня 2022 року фахівцям і пересічним користувачам в Україні було відкрито доступ до мовної моделі – чату GPT (компанія-розробник OpenAI). Пізніше стали доступними широкому загалу (фахівцям і пересічним користувачам) мовні та агентські моделі штучного інтелекту інших розробників (Copilot, компанії Microsoft; Gemini, Google тощо). Паралельно стали розвиватись засоби штучного інтелекту, що працює з різними типами даних. Так, з липня 2024 року генеративний штучний інтелект GeoAI став доступним для використання під час розв'язання просторових задач як вбудований модуль до пропрієтарної ГІС ArcGIS Pro 3.4 (ESRI, США) [20]. Також стає більше прикладів розроблення та поширення засобів генеративного штучного інтелекту з відкритим вихідним кодом (Stable Diffusion, Німеччина; ComfyUI, Китай; Deepseek, Китай тощо).

16.1 Потенціал технологій штучного інтелекту та 3D-картографії у моделюванні об'єктів нерухомості

Потенціал штучного інтелекту (ШІ) для трансформації бізнесу, промисловості та суспільства зростає протягом десятиліть. Щодо комерційної нерухомості очевидно, що стратегічне застосування ШІ може змінити цей

сектор. Штучний інтелект входить до трійки найкращих технологій, які, за очікуванням інвесторів, розробників та корпоративних орендарів, матимуть найбільший вплив на нерухомість протягом наступних трьох років.

Величезна кількість даних, згенерованих протягом цифрової революції, тепер може бути використана та проаналізована штучним інтелектом для отримання потужних ідей, які формують майбутнє нерухомості.

Зараз існують технологічні рішення майже для кожного аспекту функцій нерухомості, включно із управлінням інвестиціями, проєктуванням та будівництвом, експлуатацією будівель і об'єктів тощо.

3D-візуалізація – найуживаніший інструмент у сфері нерухомості. Відповідно 3D-картографування є базисом для більшості задач керування нерухомістю.

3D Digital Mapping у сфері нерухомості

3D Digital Mapping у сфері нерухомості – це технологія, що використовується для створення тривимірних візуалізацій об'єктів нерухомості та ландшафтів. Цифрове 3D-картографування пропонує безпрецедентні можливості візуалізації та цінну інформацію для різних зацікавлених сторін, які беруть участь у керуванні нерухомістю та міському плануванні.

Міські планувальники та архітектори можуть використовувати цю інформацію для оцінки доцільності нових будівельних проєктів, моделювання сценаріїв міського дизайну та оптимізації стратегій землекористування. Крім того, 3D-картографування може допомогти в оцінці стану довкілля та плануванні заходів на випадок стихійних лих завдяки точному моделюванню особливостей рельєфу та потенційних небезпек.

Використання алгоритмів штучного інтелекту спрощує процес збору, обробки та аналізу даних, необхідних для створення 3D-цифрових карт. Методи машинного навчання, застосовані до обробки супутникових знімків високої розподільчої здатності, скорочують час і зусилля, необхідні для створення 3D-

моделей будинків в якості від LoD 1.2 до LoD 2.1. Використовуючи сучасне програмне забезпечення для ГІС і 3D-моделювання, ми перетворюємо оброблені дані на високоточні векторні 3D-зображення будівель.

На рисунку 16.1 наведено завершений проєкт зі створення 3D-моделі міста Ріяд (Саудівська Аравія), використаний девелоперською компанією для поліпшення процесів планування, розвитку та прийняття рішень у сфері нерухомості. 3D-будинки, класифіковані як LOD1.2 відповідно до стандартів City GML, займають всю площу міста в межах адміністративних кордонів – близько 2 000 км². Більше інформації можна отримати за посиланням: URL: <https://visicomdata.com/uk/news/the-potential-of-ai-and-3d-mapping-technologies-in-real-estate-management>



Рисунок 16.1 – 3D-модель міста Ріяд

Для будинків складних архітектурних форм, таких як палаци, бізнес-центри, хмарочоси, створені більш детальні моделі в якості LOD 2.1. Кожен полігон будинків містить додаткові атрибути: тип будівлі, поверховість, площу

ділянки та загальну площу забудови. 3D-будівлі постачаються у форматах, сумісних із більшістю інструментів 3D-додатків, таких як Rhino, ArcGIS і CAD.

Цей проєкт демонструє потенціал геопросторового інтелекту у формуванні міст майбутнього та підкреслює цінність стратегічного партнерства між постачальниками технологій та лідерами галузі.

Сучасні геоінформаційні технології (ГІТ) інтегрують у собі інноваційні інструменти, серед яких провідне місце посідають штучний інтелект (ШІ) та 3D-картографія. Застосування цих технологій у сфері нерухомості відкриває нові можливості для точного моделювання, візуалізації та аналізу об'єктів на всіх етапах життєвого циклу нерухомості.

16.2 Штучний інтелект у моделюванні об'єктів нерухомості

Основи ШІ. ШІ – це галузь комп'ютерних наук, яка займається розробкою систем, здатних імітувати когнітивні функції людини: навчання, прогнозування, розпізнавання образів та ухвалення рішень.

Застосування ШІ у нерухомості:

- автоматизований аналіз просторових даних: класифікація зон забудови, ідентифікація типів будівель, прогноз змін землекористування;
- прогнозування ринкової вартості об'єктів: використання моделей машинного навчання для оцінки вартості нерухомості на основі великого обсягу даних (локація, площа, інфраструктура, тренди);
- інтелектуальна оптимізація використання простору: аналіз ефективності просторових рішень на основі моделювання поведінки користувачів та споживання ресурсів;
- розпізнавання зображень та відео: виявлення дефектів будівель, автоматичне оновлення кадастрової інформації за фото та відео з дронів.

16.3 Технології 3D-картографії

Суть і переваги 3D-картографії:

- створення тривимірних моделей будівель і територій для точного візуального аналізу;
- інтеграція з BIM (Building Information Modeling) – поєднання геометричної та семантичної інформації;
- підвищення якості ухвалення рішень у міському плануванні, архітектурі, кадастрі.

Інструменти та платформи:

- ArcGIS Pro + ArcGIS CityEngine;
- QGIS із плагінами 3D View та Qgis2threejs;
- SketchUp, Revit, Rhino + GIS Plugins;
- Photogrammetry software (Agisoft Metashape, Pix4D).

Джерела даних для 3D-моделювання:

- лідарні сканування (LiDAR);
- дрон знімання (UAV photogrammetry);
- BIM-моделі;
- супутникові знімки високої розподільності;
- наземне лазерне сканування.

Синергія III та 3D-картографії. Інтеграція 3D-моделей з алгоритмами III дозволяє:

- автоматизувати виявлення змін у забудові;
- проводити 3D-аналіз стану нерухомості;
- використовувати нейромережі для генерації варіантів забудови;
- оптимізувати розміщення об'єктів у просторі;
- створювати цифрових двійників міст та окремих споруд.

Приклади використання:

- Digital Twin міст: моделювання цілих кварталів із можливістю прогнозування трафіку, енергоспоживання, затінення;

- Smart кадастр: автоматичне оновлення кадастрових карт у 3D із залученням дронів та ШІ;
- AR/VR-платформи: віртуальні тури по об'єктах нерухомості на основі 3D-моделей.

Застосування штучного інтелекту та 3D-картографії в моделюванні об'єктів нерухомості сприяє цифровізації галузі, підвищує точність ухвалення рішень, ефективність управління простором та якість обслуговування. Ці технології є критично важливими для сталого розвитку міст і територій у цифрову епоху.

16.4 Геоінформаційний аналіз і штучний інтелект у сучасних ГІС

У складі кожної сучасної геоінформаційної системи (ГІС) поряд із модулями введення та виведення даних обов'язково наявний функціональний блок для просторового аналізу. Цей блок забезпечує як реалізацію базових аналітичних операцій, так і виконання спеціалізованих задач, орієнтованих на потреби користувача. Сукупність таких аналітичних можливостей у ГІС позначається терміном «геоінформаційний аналіз», основним призначенням якого є:

- виявлення закономірностей у структурі або просторовому розподілі об'єктів та їхніх властивостей;
- аналіз взаємозв'язків між кількома класами об'єктів або їх атрибутивними характеристиками;
- простеження динаміки розвитку явищ у просторі й часі;
- підтримка ухвалення рішень з урахуванням просторових чинників.

Види геоінформаційного аналізу, що наближаються до інтелектуальних систем

Сучасні ГІС-інструменти дозволяють виконувати аналітичні завдання, які наближені до функціоналу систем штучного інтелекту. Ці інструменти умовно поділяють на дві групи.

Перша група охоплює операції, пов'язані з інтеграцією просторових і атрибутивних даних. До них належать:

- геокодування та приєднання непросторових даних до географічних об'єктів;
- побудова запитів до баз даних із фільтрами, умовами та критеріями відбору;
- візуалізація даних на карті та аналіз просторової кореляції.

Друга група містить складніші методи комплексного аналізу, такі як:

- агрегування та узагальнення даних;
- оверлейні (перекривні) операції;
- побудова буферних зон і топологічних структур;
- просторове зонування, мережевий аналіз, аналіз растрових зображень;
- використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та різні методи генералізації.

Хоча ці функції закладені в алгоритмах ГІС заздалегідь і не є безпосереднім втіленням методів машинного або глибокого навчання, вони імітують логіку класичного штучного інтелекту.

Мовні моделі та мультимодальні інструменти

Сучасні мовні моделі, зокрема ChatGPT, також починають використовуватись у галузі картографії та геоінформатики. Хоча офіційна документація не завжди розкриває весь їхній потенціал, на практиці вони демонструють широкий функціонал, зокрема:

- визначення координат об'єктів і візуалізація на карті;
- генерація KML-файлів для Google Earth та подібних сервісів;

- допомога в роботі з ПЗ через розпізнавання образів і створення формул;
- обробка мультимедіа: створення анімацій, конвертація аудіо, розкадровка відео;
- побудова 2D- та 3D-графіків за даними;
- написання скриптів мовою Python, HTML-кодування;
- OCR-розпізнавання текстів із зображень;
- генерація QR-кодів і регулярних виразів для автоматизації текстових даних.

Ці функції підтверджують мультимодальну природу сучасного штучного інтелекту, здатного ефективно працювати з просторовими, текстовими, графічними та числовими даними.

Контрольні запитання

1. Які функції виконує штучний інтелект у сфері нерухомості?
2. У чому полягають переваги 3D-картографії для моделювання будівель?
3. Які платформи найчастіше використовують для створення 3D-моделей?
4. Як поєднання ІІІ та 3D-моделей впливає на управління містобудівними процесами?
5. Які типи даних використовуються для 3D-моделювання об'єктів нерухомості?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міхно О. Г. Прикладні геоінформаційні системи [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / О. Г. Міхно, І. М. Патракеєв. – Електрон. текст. дані. – Київ : 2020, 98 с. – Режим доступу: https://geo.knu.ua/images/doc_file/navch_lit/GIS_Michno_Patrakeev.pdf, вільний (дата звернення: 13.09.2024). – Назва з екрана.
2. QGIS is a professional GIS application that is built on top of and proud to be itself Free and Open Source Software (FOSS) [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://qgis.org/uk/site/forusers/download.html>, free (date of the application: 29.09.2025). – Header from the screen.
3. Сайт resources ArcGIS [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://resources.arcgis.com/en/help/>, вільний (дата звернення: 21.04.2025). – Назва з екрана.
4. Autodesk [Electronic resource] : website / Learn. – Electronic text data. – Regime of access: <https://www.autodesk.com/learning>, free (date of the application: 19.09.2025). – Header from the screen.
5. Autodesk [Electronic resource] : website / Autodesk Inc. – Electronic text data. – California, U. S., 2021. – Constantly updated. – Regime of access: <https://www.xingfuzuoyoushou.com/home.html>, free (date of the application: 20.09.2025). – Header from the screen.
6. Bim Partner [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://bimpartner.com.ua/master-classes/>, free (date of the application: 15.09.2025). – Header from the screen.
7. Афанасьєв О. В. Засоби автоматизації створення карт [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 30 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/61854/>, вільний (дата звернення: 13.09.2024). – Назва з екрана.

8. Євдокімов А. А. Інфраструктура просторових даних [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / А. А. Євдокімов, Н. О. Манакова, Т. С. Сенчук ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 159 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/63676/>, вільний (дата звернення: 13.09.2024). – Назва з екрана.

9. Дорожко Є. В. Перетворення паперового картографічного матеріалу в цифрову модель місцевості [Електрон. ресурс] / Є. В. Дорожко // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Вип. 7 (146). – С. 214–217. – (Серія: Технічні науки та архітектура). – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/196237012.pdf>, вільний (дата звернення: 28.04.2025). – Назва з екрана.

10. Поморцева О. Є. Тривимірне моделювання об'єктів та інфраструктури міст в геоінформаційних системах : підручник / О. Є. Поморцева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 240 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/63180/>, вільний (дата звернення: 23.05.2025). – Назва з екрана.

ГЛОСАРІЙ

3D-скульптинг – метод моделювання, що використовує техніку цифрової скульптури для створення детальних моделей з високою геометричною точністю.

BIM (Building Information Modeling) – інформаційне моделювання будівель, що забезпечує цифрове подання фізичних та функціональних характеристик будівельного об'єкта.

NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) – математичний метод подання кривих і поверхонь, що використовується для створення точних 3D-моделей.

САПР (Система автоматизованого проєктування) – програмне забезпечення для створення та редагування інженерних, архітектурних і промислових проєктів.

Полігональне моделювання – метод створення 3D-моделей за допомогою багатокутників (полігонів).

Геоінформаційна система (ГІС) – система для збирання, аналізу та управління географічними даними.

Воксельне моделювання – спосіб подання 3D-об'єктів через об'ємні пікселі (вокселі).

Текстурування – процес нанесення текстур на 3D-моделі для реалістичного вигляду.

Рендеринг – обчислення та візуалізація 3D-сцени у вигляді зображення або відео.

Фотореалістична візуалізація – технологія створення зображень, які максимально нагадують фотографії.

Геометрична деталізація – рівень деталізації об'єктів у 3D-моделі.

Процедурне моделювання – автоматизований підхід до створення 3D-моделей через алгоритми.

Стереофотограмметрія – метод визначення геометричних характеристик об'єктів за допомогою стереозображень.

Лазерне сканування – технологія створення 3D-моделей шляхом сканування об'єктів лазером.

VR (Virtual Reality) – технологія створення інтерактивних віртуальних середовищ.

AR (Augmented Reality) – доповнена реальність, що поєднує віртуальні об'єкти з реальним світом.

LOD (Level of Detail) – рівень деталізації 3D-моделі, що змінюється залежно від відстані.

Тривимірне сканування – метод отримання тривимірних цифрових копій фізичних об'єктів.

Фізично коректний рендеринг (PBR) – метод візуалізації, що враховує фізичні властивості матеріалів.

Глобальне освітлення – технологія рендерингу, яка враховує відбиття світла між поверхнями.

Машинне навчання у 3D-моделюванні – застосування штучного інтелекту для автоматизації процесів 3D-моделювання.

Генеративний дизайн – метод автоматизованого проектування, що використовує алгоритми для створення оптимальних конструкцій.

CAD (Computer-Aided Design) – комп'ютерне моделювання для інженерних і дизайнерських рішень.

Мультиагентне моделювання – метод симуляції, що використовує незалежні агенти для моделювання складних систем.

Електронне навчальне видання

ЄВДОКІМОВ Андрій Анатолійович

**МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ ЗАСОБАМИ
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *Б. О. Хільська*
Комп'ютерне верстання: *А. А. Євдокімов*

План 2025, поз. 12Л

Підп. до друку 25.08.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 7,0.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.