

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури, будівництва та ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Тарас Євгенія
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.48
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
« Оцінка якості створення 3D моделей міст на основі відкритих
геопросторових даних »
(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

Є. Тарас, студентки групи ГЗ-21-1

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник: **к.т.н. доцент Дмитро Касіянчук**
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада)

(підпис) (дата)

проф. Микола ПРИХОДЬКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

(посада)

(підпис) (дата)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут архітектури, будівництва та ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та землеустрою

проф. Микола ПРИХОДЬКО

" ____ " _____ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Тарас Євгенія

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Оцінка якості створення 3D моделей міст на основі відкритих геопросторових даних »

керівник роботи: к.т.н. доцент Дмитро Касіячук

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

затверджена наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом роботи _____ року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Методологія та методи дослідження

2. Створення 3D моделей

3. Результати дослідження

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Дата видачі завдання: _____

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Методологія та методи дослідження		
2	Створення 3D моделей		
3	Результати дослідження		
4	Оформлення бакалаврської роботи		

Студент

_____ *Тарас Є.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ *Касіянчук Д.*

Анотація

Метою бакалаврської роботи є дослідження інтегрованого підходу до створення тривимірних моделей міських територій на основі відкритих двовимірних картографічних та супутникових даних, з використанням мобільних GNSS-пристроїв і хмарних обчислень для збору та обробки просторової інформації в режимі реального часу.

Актуальність теми

У світі спостерігається зростаючий попит на точні та доступні тривимірні просторові дані для містобудування, навігації, управління інфраструктурою та екологічного моніторингу.

Комерційні рішення створення 3D-моделей часто є фінансово недоступними для багатьох користувачів і громад.

Тому використання відкритих джерел даних, таких як OpenStreetMap та супутникові моделі рельєфу (наприклад, AW3D), у поєднанні з мобільними пристроями, GNSS-приймачами та хмарними обчисленнями, дає змогу формувати точні та масштабовані тривимірні моделі міст навіть у складних географічних умовах.

Це дозволяє забезпечити доступність просторової інформації широкому колу користувачів, включно з органами місцевого самоврядування, дослідниками та розробниками.

Наукова новизна

Новизна роботи полягає в поєднанні кількох відкритих технологій: використанні GNSS-даних з мобільних пристроїв для оперативного збору просторової інформації, інтеграції відкритих двовимірних картографічних даних з OpenStreetMap з супутниковими цифровими моделями рельєфу, а також обробки цих даних у хмарному середовищі.

Запропонований підхід було апробовано на прикладі двох міст з різними топографічними умовами — Києва та Львова, що дозволило оцінити гнучкість та ефективність розробленої методики.

Практична цінність

Практична цінність роботи полягає у створенні доступного й масштабованого методу побудови тривимірних моделей міських територій, що може бути застосований у різних регіонах без значних фінансових витрат.

Такий підхід є особливо корисним у контексті міст, для яких відсутні готові 3D-моделі або придбання комерційних даних є економічно недоцільним.

Отримані результати можуть знайти застосування у містобудівному плануванні, створенні віртуальних турів, моніторингу інфраструктури та розробці картографічних і навігаційних додатків.

Ключові слова: 3D-модель міста; відкриті дані; цифрова модель місцевості; OpenStreetMap

Abstract

The purpose of the bachelor's thesis is to study an integrated approach to creating three-dimensional models of urban areas based on open two-dimensional cartographic and satellite data, using mobile GNSS devices and cloud computing to collect and process spatial information in real time.

Relevance of the topic

There is a growing demand in the world for accurate and accessible three-dimensional spatial data for urban planning, navigation, infrastructure management and environmental monitoring.

Commercial solutions for creating 3D models are often financially inaccessible to many users and communities.

Therefore, the use of open data sources, such as OpenStreetMap and satellite terrain models (e.g. AW3D), in combination with mobile devices, GNSS receivers and cloud computing, makes it possible to form accurate and scalable three-dimensional models of cities even in complex geographical conditions.

This allows ensuring the availability of spatial information to a wide range of users, including local governments, researchers and developers.

Scientific novelty

The novelty of the work lies in the combination of several open technologies: the use of GNSS data from mobile devices for the rapid collection of spatial information, the integration of open two-dimensional cartographic data from OpenStreetMap with satellite digital terrain models, as well as the processing of this data in a cloud environment.

The proposed approach was tested on the example of two cities with different topographic conditions - Kyiv and Lviv, which allowed us to assess the flexibility and effectiveness of the developed methodology.

Practical value

The practical value of the work lies in the creation of an accessible and scalable method for building three-dimensional models of urban areas, which can be applied in different regions without significant financial costs.

This approach is especially useful in the context of cities for which there are no ready-made 3D models or the acquisition of commercial data is economically inexpedient.

The results obtained can be used in urban planning, creating virtual tours, monitoring infrastructure, and developing cartographic and navigation applications.

Keywords: 3D city model; open data; digital terrain model; OpenStreetMap

Зміст

Вступ

1. Методологія та методи дослідження

1.1. Область дослідження

1.2. Дані для дослідження

1.2.1. OpenStreetMap

1.3. Основний робочий процес

1.4 Технічна перевірка висоти будівлі

2. Створення 3D моделей

2.1. Львів

2.1.1. Перевірка 3D-моделі

2.1.2. Заміна даних про висоту земельної поверхні

2.2 Київ

3. Результати дослідження

Висновок

Список використаних джерел

Вступ

У сучасному світі спостерігається постійне зростання зацікавленості до тривимірних моделей міських просторів, які активно використовуються в міському плануванні, урбаністиці, системах геоінформації, навігаційних програмах та багатьох інших сферах.

Проте, доступ до детальних та якісних 3D-моделей міст все ще обмежений, особливо коли купівля комерційних даних є економічно не вигідною або взагалі неможливою.

У зв'язку з цим, дедалі важливішими стають методи, що базуються на відкритих джерелах просторової інформації.

Зокрема, поєднання відкритих двовимірних даних про будівлі, отриманих з OpenStreetMap (OSM), з супутниковими цифровими моделями рельєфу, на зразок AW3D, відкриває перспективи для швидкого та відносно недорогого створення тривимірних міських моделей, доступних для широкого кола користувачів.

В межах цієї бакалаврської роботи було досліджено та застосовано метод створення 3D-моделей міських територій шляхом об'єднання даних з відкритих джерел.

Методика була протестована на прикладі двох українських міст – Львова та Києва, які значно відрізняються за своїми географічними та морфологічними особливостями.

Такий підхід дозволив не тільки оцінити гнучкість та універсальність використаного методу, але й підкреслити його ефективність в різноманітних умовах.

Для реалізації побудови цифрових моделей земної поверхні було використано програмне забезпечення від компанії Esri.

Незважаючи на цілісний характер базової моделі, покращення її точності можливе шляхом додавання детальніших моделей рельєфу або використання супутникових знімків високої роздільної здатності, що перебувають у відкритому доступі.

З огляду на глобальну доступність просторових даних та можливість автоматизованого створення тривимірних представлень міст, дана робота спрямована на спрощення та здешевлення процесу формування 3D-моделей, що особливо актуально для територій, де відсутні готові комерційні рішення.

3D-моделі міських територій вирізняються різним ступенем деталізації (LOD).

Норматив CityGML встановлює п'ять градацій деталізації, починаючи з LOD0 і закінчуючи LOD4.

LOD0 відповідає найменшому рівню деталізації і являє собою цифрову модель місцевості з обмеженою інформацією.

Цей рівень застосовується для потреб регіонального планування та ландшафтного дизайну.

LOD1 – це модель-блок, де висота споруд виводиться на основі плоских дахів.

Застосовується для загального огляду міст та регіонів.

LOD2 – модель будівлі з деталізованими дахами та чіткими межами.

Використовується для міських територій.

LOD3 – модель з додатковими деталями, що демонструють архітектурні особливості будівлі.

Широко застосовується для навігації та орієнтації на місцевості.

LOD4 – включає деталі внутрішньої структури будівлі, та інші елементи інтер'єру.

Збільшення деталізації моделі розширює горизонти використання, але паралельно підвищує потреби у вихідних даних та ресурсах для обчислень.

1. Методологія та методи дослідження

1.1. Область дослідження

У центрі уваги нашого дослідження постали два українські міста, що значно розрізняються своїми масштабами та загальним виглядом – Київ і Львів.

Окрім того, між Києвом та Львовом наявні суттєві відмінності у можливості доступу до даних.

Географічні особливості та архітектура кожного з міст дозволяють провести ретельну оцінку використаної методології.

Львів знаходиться на заході України, його площа становить 149 км², а кількість мешканців сягає 711 000 осіб.

Львівське плато простягається приблизно за сімдесят кілометрів від державного кордону з Польщею, де зустрічаються горбиста Розточчя та низовинна Надбужанська улоговина.

Через Львів прямують основні європейські вододіли, що розмежовують річки басейнів Балтійського та Чорного морів, а саме Західний Буг та Дністер.

Середня висота Львова над рівнем моря складає двісті вісімдесят дев'ять метрів, а найвища точка - це Високий Замок (413 метрів над рівнем моря).

Якщо порівнювати з Києвом, Львів характеризується меншою щільністю забудови, більшим відсотком невеликих і середніх будівель та помітно меншою кількістю багатоповерхівок.

Розташоване на північних рубежах України, де перетинаються кордони з Польщею та мальовничим лісостепом, місто Київ розкинулось на значній території – 836 км².

Його межі розтягуються на понад 20 кілометрів вздовж могутньої річки Дніпро.

Рельєф Києва є результатом взаємодії двох великих географічних зон – Придніпровської височини та просторів Поліської і Придніпровської рівнин.

Ця взаємодія створила унікальний ландшафт.

Значна частина Києва, величного міста, базується на Київському плато, що розкинулось на правому, більш високому березі славетного Дніпра.

Це плато перетинають глибокі яри, формуючи визначні височини, як-от Печерська, Щекавицька та Хоревецька, що роблять архітектурний вигляд столиці унікальним.

Певна частина території столиці розкинулася на рівнинному лівому березі.

Навколо житлових масивів розкинулись лісові масиви.

Приблизна чисельність населення, згідно з даними 2022 року, сягає близько 3 мільйонів. Київ славиться рівнинним рельєфом, середня висота міста над рівнем моря становить не більше 4 метрів.

Міська забудова Львова розрідженіша, переважають споруди середньої та невеликої поверховості.

Натомість Київ вирізняється компактнішою забудовою, з високими будинками та будівлями середньої висоти, що формує значно складніший архітектурний ландшафт.

Стосовно доступності інформації: Київ відстає від Львова у плані відкритості даних.

Рівень їхньої однорідності та доступності, наприклад, у проєкті OpenStreetMap, значно поступається львівському.

Отже, порівнюючи Київ та Львів, можна побачити, як використана методика демонструє свою придатність у містах, що відрізняються один від одного як територіально, так і за типом міського планування.

1.2. Дані для дослідження

Цифрові моделі рельєфу відображають різноманітні властивості, як-от: топографія, забудова, рослинність та інші елементи земної поверхні.

Відтак, фундаментальний підхід до вимірювання висоти споруди на основі цифрової моделі місцевості (на прикладі AW3D) полягає у визначенні висоти земної поверхні, спираючись на цифрову модель місцевості, після чого, віднімаючи отримане значення з цифрової моделі місцевості, визначається висота будівлі.

У містах з плоским рельєфом висоту споруд можливо обчислити, віднявши середню висоту земної поверхні від значення, отриманого з цифрової моделі рельєфу.[4]

Втім, у населених пунктах, де ландшафт більш пересічений, скажімо, наявні підйоми або пониження, для точного відображення висотних характеристик забудов потрібні додаткові прийоми виправлення.

Цифрові моделі рельєфу, які передають лише оголену земну поверхню, без споруд та зелених насаджень, теж можуть слугувати інструментом для вирішення задачі, але вони не здатні адекватно відтворити висоту наземних об'єктів.

Масиви даних, що використовуються при створенні 3D-моделей міст, повинні бути максимально вивіреніми, щоб забезпечити високу якість отриманих результатів.

Враховуючи недостатність інформації для певних населених пунктів, ключовими джерелами для формування елементарних

тривимірних моделей міст виступають відкриті бази даних, зокрема OpenStreetMap (OSM), та цифрові моделі місцевості з відкритим кодом.

Проте, показники точності й деталізації цих ресурсів часто виявляються незадовільними для реалізації проєктів, котрі передбачають високу ступінь деталізації та відповідальності за точність даних.

Для підвищення точності використано такий масив даних:

1. Цифрова модель місцевості - вільний доступ, роздільна здатність 30 метрів, що дає загальне уявлення про структуру земної поверхні;

2. Глобальні дані рельєфу з високою деталізацією (Global Multi-resolution Terrain Data) - глобальний набір даних з роздільною здатністю 225 метрів.

Не зважаючи на відносно низьку роздільну здатність, ці дані знайшли широке застосування на великих площах.

Для вдосконалення точності розроблених моделей, ми застосували розширені набори даних:

- Щодо Львова, були залучені дані LiDAR, що характеризуються просторовою роздільною здатністю у 2 метри.

Це дозволяє отримати надзвичайно деталізовану інформацію про висоту споруд та особливості рельєфу.

- У контексті Києва, нами було придбано цифрову модель рельєфу AW3D Enhanced, також з роздільною здатністю у 2 метри, що забезпечує максимально реалістичне відображення як висоти, так і форми будівель.

Після етапу 3D-моделювання, для верифікації отриманих результатів, ми використали набір даних MasterMap для Львова, а також AW3D Enhanced – для Києва.[4],[6]

Ці масиви інформації дозволили провести чітке зіставлення та підтвердити коректність підходу, використаного в обох населених пунктах.

Таблиця 1. Категорії даних та їхні ключові аспекти

№ п/п	Тип даних	Охоплення та доступність	Мета використання даних	Джерело даних	Умови використання Ліцензія
1	AW3D-30 з роздільною здатністю 30 м	Безкоштовні дані	Формування висоти моделі	JAHA	Відкрита ліцензія
2	LIDAR DSM і DTM роздільна здатність 0.25-2м	Безкоштовні дані	Створення регресії моделі (розширення параметрів)	ДП «УКРДАГП» м.Київ	Відкрита ліцензія
3	Дані 2D будівель для Києва та Львова	Безкоштовні дані	Генерація будівель	OpenStreetMap	Відкрита ліцензія
4	Дані 2D будівлі для Львова	Безкоштовні дані	Генерація будівель	OpenStreetMap	Відкрита ліцензія
5	Адміністративний кордон Київ (векторний шар)	Безкоштовні дані	Вибір області побудови	OpenStreetMap	Відкрита ліцензія
6	Адміністративний кордон Львів (векторний шар)	Безкоштовні дані	Вибір області побудови	ПП «Геопроф» м.Львів	Відкрита ліцензія
7	Дані будівель Львова з атрибутами висоти (векторний шар)	Тільки для досліджень (комерційна)	Перевірка	Digital	Ліцензія навчального закладу
8	Цифрова модель місцевості Київ (переріз 2м.)	Комерційна	Перевірка	Digital	Комерційна ліцензія

1.2.1. OpenStreetMap

Дані OpenStreetMap, що стосуються Києва та Львова, стали фундаментом для 3D-моделювання, адже містять базову геометричну інформацію про обриси споруд.

Аби збільшити точність цих моделей, варто застосувати додаткові джерела даних.

Наприклад, використовувати дані цифрових моделей рельєфу та місцевості, що враховують зміни висоти ділянок, котрі не завжди є у OpenStreetMap.

Ще одним суттєвим моментом є розмежування між різними типами споруд, особливо в міському ядрі та його околицях.[4]

Попри те, що інформація з OpenStreetMap демонструє вищу точність в центрі, де багато висотних будівель, точність знижується на периферії, через меншу щільність забудови.

В подібних ситуаціях, додаткові джерела даних, на зразок LiDAR, можуть забезпечити необхідною інформацією для підвищення якості 3D-моделювання.

Ще одним ключовим моментом є опрацювання інформації про висоту споруд. У багатьох міських агломераціях, зокрема там, де місцевість характеризується складною топографією, типові цифрові моделі рельєфу можуть не зовсім точно відображати висоту будівель, особливо тих, що знаходяться на схилах або в низинах.

Моделі, розроблені на основі супутникових даних або LiDAR, можуть суттєво збільшити точність висотних параметрів, необхідних для отримання точних 3D-моделей.[4]

В цьому аспекті також важливим є питання доступності даних.

Рівень картографічного охоплення різних міст відчутно відрізняється.

Скажімо, якщо в Києві деталізація може лишати бажати кращого, то у Львові, завдяки більш розвиненому доступу до відкритих даних, є можливість розробляти точніші моделі міського середовища.

Для покращення якості та повноти тривимірних моделей як Львова, так і Києва, варто застосовувати додаткові дані, як от надточні LiDAR-скани або ж інформацію із супутників.

Це допоможе компенсувати обмеження відкритих ресурсів та створити деталізованіші та вірогідніші віртуальні зображення міст.



Рисунок 1. Покриття будівель OpenStreetMap, Київ

1.3. Основний робочий процес

Загальна методологія побудови тривимірних моделей, які представляють робочий процес, передбачає всеосяжний підхід, який інтегрує різні фази обробки та аналізу інформації.

На рисунку 2 демонструється практичне застосування цього методу для різних місцевостей та доступних даних.

Процес стартує із збирання та первинної обробки вихідних двовимірних даних, зокрема, створення контурів з OpenStreetMap.

Цей етап є ключовим для визначення форми та основних просторових особливостей об'єкта.[4],[6]

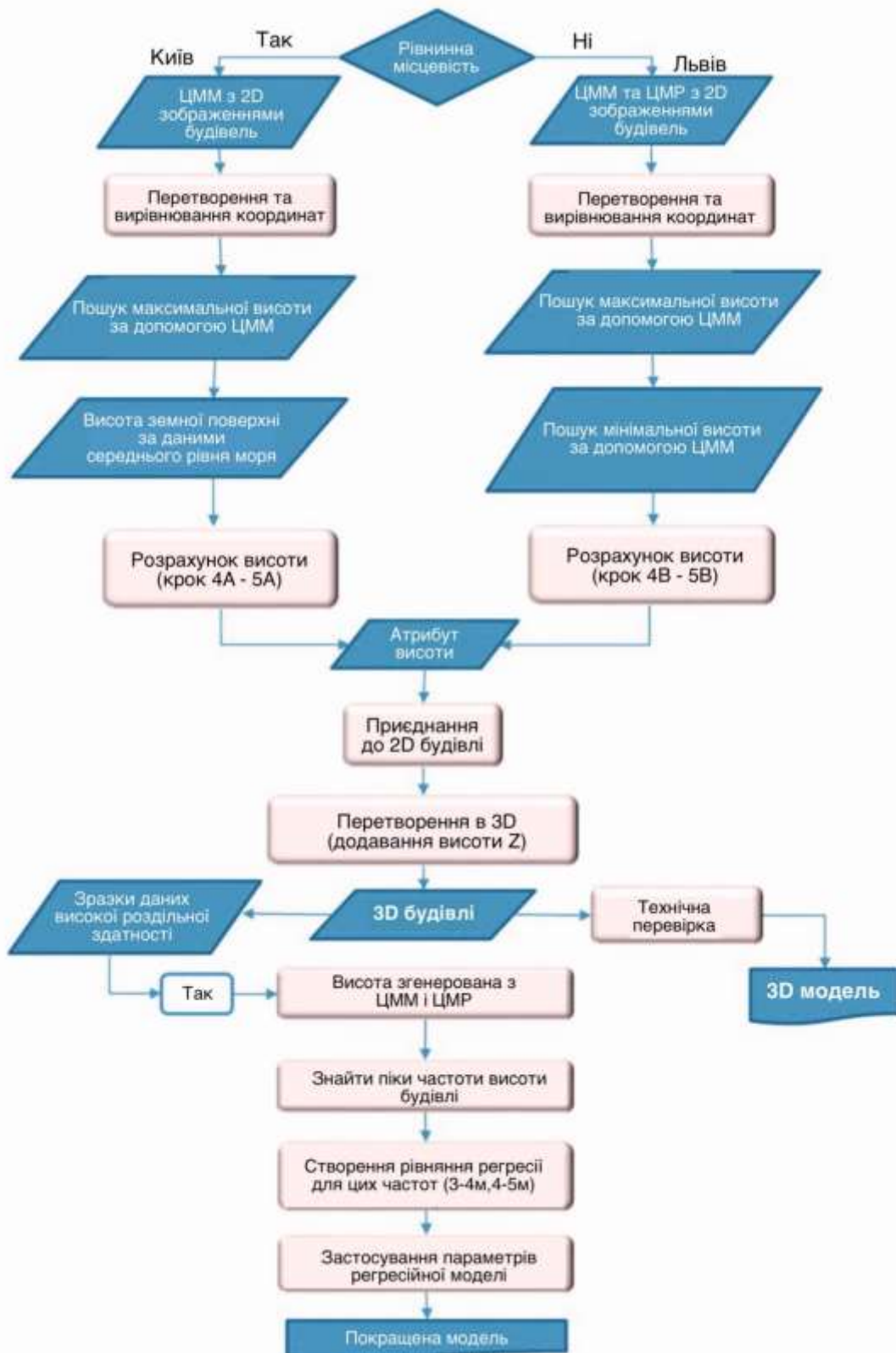


Рисунок 2. Загальна методологія

В залежності від того, які дані є доступними для певного міста, можливо застосувати додаткові джерела, на зразок LiDAR чи цифрових моделей місцевості, аби досягти більшої точності.

Використовуючи цифрову модель рельєфу або модель місцевості, визначається висота споруд, враховуючи особливості ландшафту.

Для міст з рівнинною місцевістю, процес може полягати у простому відніманні висоти земельної поверхні від значення висоти цифрової моделі рельєфу.

У випадку міст зі складним рельєфом, наприклад, такого як Львів, доцільно використовувати більш деталізовані набори даних, що дозволяють враховувати зміни рельєфу і, як наслідок, точніше визначати висоту будівель.

Останній етап — це фіналізація тривимірної моделі споруди.

Коли є інформація з більшою деталізацією, цей процес можливо вдосконалити, досягаючи ще вищої якості.[4]

Проте, навіть за відсутності додаткових даних, основна процедура дає тривимірну модель, придатну для численних практичних цілей, наприклад, у плануванні міст та дослідженні змін у міській забудові.

Цей спосіб вирізняється гнучкістю в обробці даних та може пристосовуватись до різних міст і наявних масивів даних, що робить його універсальним засобом для створення 3D-моделей міського середовища.

На кожному з зазначених етапів критично важливо скрупульозно контролювати коректність обробки інформації та брати до уваги особливості топографії.

Наприклад, у випадку міста зі складним рельєфом, як-от Львів, необхідно аналізувати не тільки зміни в ландшафті, але й якість базових даних.

Використовуючи даний метод, необхідно регулювати наступні процеси:

1. Розбіжності між даними з різних джерел

Часто буває так, що точність даних з OpenStreetMap та цифрових моделей місцевості може не відповідати один одному, що може вплинути на фінальний результат.

Наприклад, для Львова, у деяких районах обриси споруд на мапі можуть бути схематичними, тож може виникнути потреба в ручному доопрацюванні для покращення точності моделі.

Це необхідно задля досягнення реалістичної тривимірної моделі.

2. Виправлення висоти

Через різноманітність особливостей різних типів місцевості, інтерполяція висот на горбистій місцевості вимагає додаткових етапів.

Наприклад, на площині або місцевості з перепадами висот, найменше значення Z не завжди беззаперечно вказує на точність, адже середнє або найбільше значення Z здатне краще окреслити висоту.

3. Вплив запрограмованих зміщень

Оскільки різноманітні масиви даних можуть базуватися на різних системах координат, критично переконатися, що дані коректно записані, перед тим, як їх застосовувати.

У певних ситуаціях може бути необхідна корекція розташування з використанням математичних технік.

4. Адаптація

Необхідно приділити особливу увагу щільності даних, враховуючи відмінності в міському просторі між Львовом та Києвом.

У Києві, з його значною міською територією, потрібен більш інтенсивний рівень обробки для досягнення деталізації 3D-моделі.

У таких великих містах критично важливо розподіляти ресурси для обробки величезних обсягів даних.

5. Інші підходи для покращення показників

Залучення додаткових джерел інформації, скажімо, LiDAR-сканування, здатне збільшити точність 3D-моделі.

Застосування LiDAR з високою просторовою роздільною здатністю (наприклад, 2 метри) може забезпечити більш докладні дані про рельєф місцевості та споруди, мінімізуючи недоліки, що властиві традиційним цифровим моделям місцевості.

Це досягається через візуальне подання отриманих даних, вивчення розбіжностей між різними інформаційними шарами та співставлення з наявними топографічними картами, які були опубліковані.[4]

Під час проведення перевірки надзвичайно важливо взяти до уваги такі пункти:

- Наскільки точно окреслено контури споруд.
- Чи відповідає висота будівель особливостям місцевого рельєфу;
- Виявлення відхилень від норми шляхом зіставлення з картографічними даними, що вже існують.

Це дає змогу точніше адаптувати модель, а за потреби – скоригувати параметри обробки задля глибшого аналізу.

У разі значних розбіжностей між передбаченою висотою споруд і наявними фактичними показниками, метод інтерполяції може підлягати коригуванню, або ж можуть бути залучені додаткові засоби для виправлення моделі.

Коли роздільна здатність цифрової моделі рельєфу є недостатньою, для високоточної обробки даних доцільно вдатися до додаткових етапів інтерполяції.

Одним із способів вирішення завдання є використання складніших алгоритмів інтерполяції.

Наприклад, кригінг або сплайн-інтерполяція можуть надати додаткову інформацію про форму рельєфу.

В Києві та Львові така методика може бути корисною, якщо ви використовуєте цифрові моделі місцевості, що характеризуються невисокою роздільною здатністю та відносно низькою точністю даних про висоти.

Використання вказаних підходів сприяє отриманню точніших даних про висоту в областях з обмеженою щільністю забудови, наприклад, у передмістях та сільській місцевості.

Відтак, розробка ефективних методів визначення висоти будівель з даних з невисокою роздільною здатністю стає ключовою для створення точних карт та моделей міських територій, особливо в містах з різноманітним рельєфом і географією, таких як Київ та Львів.[6]

1.4 Технічна перевірка висоти будівлі.

Для міста Лева, проведені обчислення висоти споруд зіставлялися з цифровою інформацією про їхні параметри.

Обчислені значення висот було зіставлено з відповідними атрибутами в цифровому форматі, використовуючи арифметичне віднімання.

Після цього, для підрахунку кількості будівель, у яких розбіжність у висоті (h) вкладалася у визначені межі, були зроблені запити мовою SQL: менше 1 м, від 1 м до 2 м, від 2 м до 5 м та понад 5 м.

Додатково, було здійснено обчислення відсотків для кожної з цих категорій.

Подібну процедуру верифікації було застосовано й до Києва, але варто наголосити, що відкритий доступ до високодеталізованих даних про висоту будівель цього міста відсутній.

З огляду на це, для аналізу було використано продукт AW3D Enhanced з просторовою дискретизацією 2 м, який базується на даних супутникових знімків Digital Globe WorldView.

Уточнення висоти споруд можливо здійснити, зіставляючи значення висот будинків, отриманих із зображень Digital, з показниками, визначеними за допомогою цифрової моделі рельєфу з роздільною здатністю 2 метри.

Під час здійснення контролю якості було проаналізовано 202 будівлі задля зіставлення.

Цей аналіз не просто підтвердив достовірність інформації про висоту споруд, а й позитивно вплинув на загальну якість тривимірної моделі, оскільки було визначено показники похибки для кожної окремої висоти.

Коефіцієнт похибки демонструє розбіжність між висотою, обчисленою в ході дослідження, та фактичними габаритами будівлі, взятими з інформації високої деталізації.

Після обчислення цього показника, результати можуть бути застосовані для корегування висоти споруд у аналогічних місцевостях чи для подальшої обробки отриманих даних.

Для забезпечення високої точності при моделюванні, критично важливо, щоб були доступні високодеталізовані набори даних для зразка будівель (Див. Рисунок 3).[4]

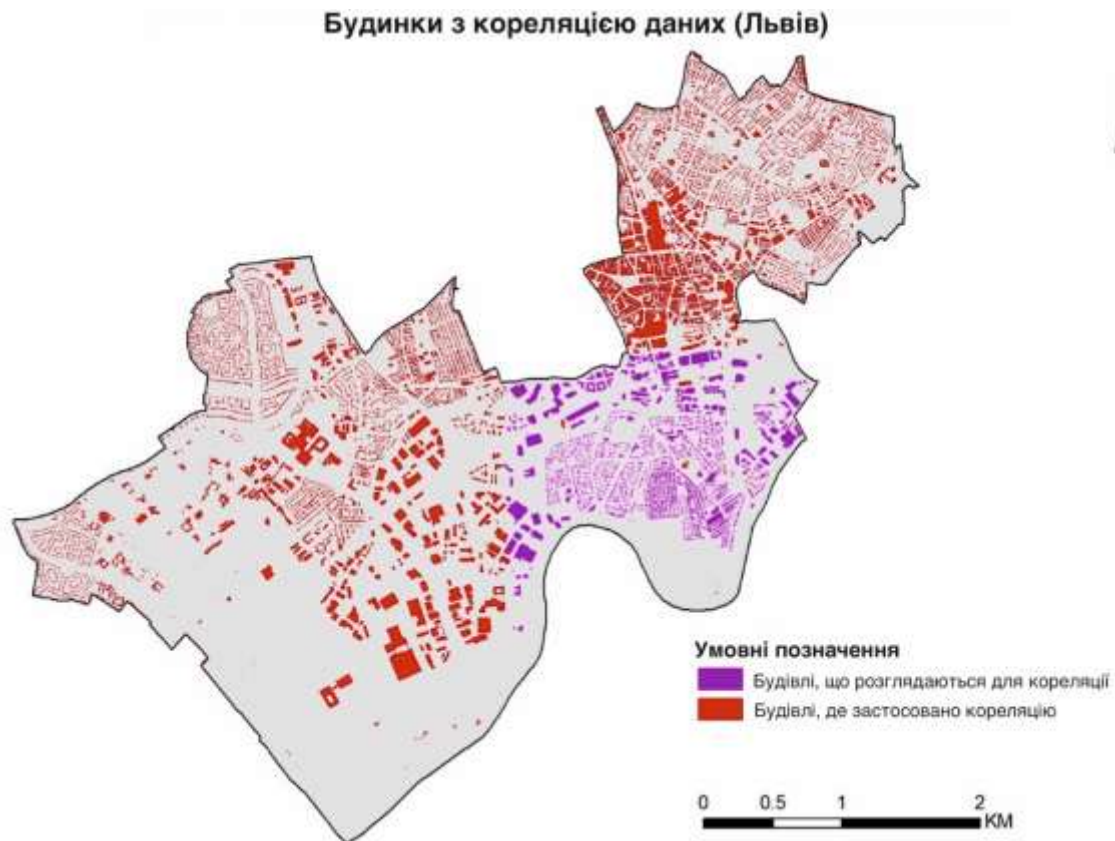


Рисунок 3. Приклади споруд, задіяних для 3D кореляції, місто Лева.

Отже, достовірність 3D-моделі істотно зростає завдяки врахуванню помилок та змін висоти будівель на масштабі окремих житлових масивів.

Ці удосконалення приводять до створення детальніших моделей, які можуть бути використані для різноманітних цілей, включаючи містопланування, екологічну експертизу, проектування інфраструктури та інші важливі аспекти розвитку міст.

На заключному етапі корегування даних важливо також проаналізувати стабільність отриманих результатів протягом певного періоду, аби гарантувати їх надійність у майбутньому.

Це дає можливість визначити, яким чином зміни в навколишньому середовищі та об'єктах інфраструктури можуть вплинути на точність та практичну цінність розроблених 3D-моделей з плином часу.

З метою удосконалення моделі, для кожного полігону було застосовано інтервал у 1 метр, а також використано уніфіковану максимальну категорію висоти споруд (наприклад, будівлі з дахами, що мають скати).

Цей підхід гарантує підвищену взаємозалежність між інформацією та дає змогу адаптувати його для аналогічних місцевостей.

Визначення такого розмаїття висот сприяє формуванню яскравіших груп та дає можливість ефективніше оперувати отриманими даними.

У випадку Львова здійснено аналіз релевантних баз даних та обчислено найбільшу кількість споруд, що мають висоту від 2 до 8 метрів.

На даному етапі було сформовано рівняння регресії з кроком в 1 метр для висотних категорій будівель у діапазоні від 2 до 8 метрів.

Для прикладу, для кожного проміжку $2 \leq h \leq 3$ м, $3 < h \leq 4$ м, та $7 < h \leq 8$ м.[4]

Ці проміжки були обрані з міркувань забезпечення максимальної відповідності з реально зібраними відомостями.

Рівняння регресії, що були виведені для кожного з розглянутих інтервалів, стали інструментом для визначення висоти споруд для вибраних типів.

Щоб цього досягти, дані про висоти в цифровому вигляді, з високою деталізацією, були імпортовані на графік розсіювання у Excel, де було розраховано рівняння лінійної регресії.

Вказані рівняння використали, щоб коригувати висоти будівель в межах вибірки, а також поза нею (в місцевостях, де інформація про висоту мала меншу роздільну здатність).

Технічну перевірку вдосконаленої моделі виконали так само, як і для вихідної версії.

У процесі оцінки точності та стабільності отриманих результатів, використали ті ж споруди та масиви даних, що й при валідації базової моделі.

Застосування такого підходу не тільки сприяло збільшенню точності вимірювань висоти будівель, а й створило потужний інструмент для майбутніх досліджень та коригування міських 3D-моделей, суттєво розширивши сферу їхнього використання в міському плануванні та менеджменті.

2. Створення 3D моделей

2.1. Львів

Отримавши тривимірні моделі львівських споруд – тобто значення висот, отриманих із цифрових моделей рельєфу – ці дані зіставлялися з фактичними висотами споруд для встановлення відповідності результатів.

Аналіз зібраних даних вказує, що для 27,7% всіх будівель похибка не перевищує ± 1 метр, для 51,45% – не більше ± 2 метри, а для 84,47% – в межах ± 5 метрів.

Водночас було зафіксовано, що приблизно у 15,53% будівель спостерігалися розбіжності у висоті, які перевищували допустимий рівень точності ± 5 метрів.[4]

Аналітичні дані також вказують на найбільші зміни показників висоти в архітектурних об'єктах з великою поверховістю.

Водночас, було зафіксовано відносно високі відповідності з фактичними вимірами для споруд з малою та середньою кількістю поверхів.

Отримані результати демонструють зменшення точності моделювання при збільшенні висоти будівель.

Найімовірніше, це пояснюється як складною структурою висотних конструкцій, так і труднощами, які виникають при обчисленні їхньої висоти з використанням цифрових моделей рельєфу.

Отримані дані додатково підкреслюють критичність використання додаткових джерел інформації та покращених алгоритмів обробки для досягнення вищої точності у моделюванні висотних будівель.

Цей аспект матиме важливе значення для широкого спектру задач міського планування, особливо для створення деталізованих 3D-моделей, що полегшать управління міським простором.

Результати порівняльного аналізу можна побачити на рисунку 4.[4]

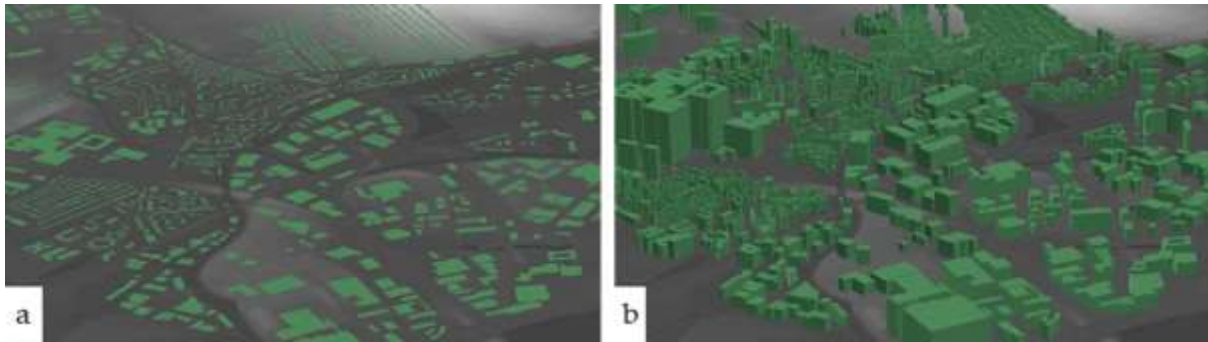


Рисунок 4. (а) Площинні плани споруд міста Лева, (б) Об'ємні зображення будівель, сформовані як цифрові аналоги місцевості та як інформація про рельєф

З метою покращення деталізації тривимірних моделей міського середовища Львова було використано підхід вилучення інформації про висоти з великою точністю, що дало можливість підвищити деталізацію в інтервалі висот від 2 до 8 метрів.

В межах цього інтервалу спостерігається значний взаємозв'язок між цифровою моделлю рельєфу та результатами, отриманими з даних високої роздільної здатності, зокрема, даних лазерного сканування (LiDAR).

Внаслідок проведених досліджень вдалося створити вдосконалені моделі будівельних об'єктів, зокрема тих, що мають середню висоту та характеризуються усталеними, чітко окресленими інтервалами між показниками висоти.

Після обчислення регресійних рівнянь з інтервалом у 1 метр для визначених діапазонів висот, ці рівняння були використані для опрацювання масиву даних, який поєднував дані з цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та дані висот, отримані з LiDAR-сканування високої роздільної здатності.[7]

Застосування цих удосконалень привело до суттєвого покращення точності визначення висот будівель, особливо для об'єктів середньої та значної поверховості, що є ключовим аспектом для забезпечення високої якості 3D-моделювання міського середовища.

Рівняння регресії, окреслені для кожного з діапазонів висот споруд (скажімо, 2-3 метри, 3-4 метри, 4-5 метрів тощо), забезпечують можливість більш деталізованого вимірювання висоти будівель у кожній підкатегорії.

Це, своєю чергою, сприяє підвищенню загальної точності результатів для значного обсягу будівельних об'єктів.

Отримані за допомогою рівнянь регресії дані не тільки поліпшують точність вже наявних 3D-моделей, а й створюють перспективу для майбутнього вдосконалення цифрових моделей міст із залученням нових і деталізованих даних високої роздільної здатності.

У таблиці 2 подано значення кореляції разом із відповідними лінійними рівняннями, що були застосовані для різноманітних категорій висоти будівель.

Ці дані використовувалися для покращення точності 3D-моделі Львова.

Таблиця 2: Значення кореляційних залежностей, для збільшення точності (Львів).

№ п/п	Висота будівель(м)	Діапазон різниці висот, що використовується для створення рівняння (м)	Лінійне рівняння для підвищення точності
1	2 до 3	1 до 2	$y = 0.984x - 1.358$
2	3 до 4	0 до 2	$y = 0.936x - 0.554$
3	4 до 5	Рівняння не потрібні, оскільки значення вже мають хорошу кореляцію	
4	5 до 6	-1.7 до 0.4	$y = 0.986x + 0.610$
5	6 до 7	-3.6 до 0	$y = 1.017x + 1.239$
6	7 до 8	-4.1 до -1.2	$y = 1.041x + 2.080$

2.1.1. Перевірка 3D-моделі

Перевірка вдосконаленої 3D-моделі продемонструвала, що використання регресійного рівняння суттєво підвищило точність базової моделі в усіх аспектах.

Як наслідок, частка споруд з похибкою ± 1 м зросла з 27,7% до 32,81% (див. Таблицю 3), а відсоток споруд з точністю ± 2 м збільшився з 51,45% до 57,43%.

Відсоток будівель, які демонстрували точність у межах ± 5 м, теж показав відчутне покращення, підвищившись з 84,47% до 88,46%.

Паралельно з цим, кількість будівель з похибками понад ± 5 м знизилася з 15,73% до 11,54%. [4]

Таблиця 3: Результати аудиту 3D-моделі

№п/п	Метод визначення висоти	Відсоток будівель з похибкою			Відсоток будівель з похибкою понад
		+/-1 м	+/-2 м	+/-5 м	+/-5 м
1	Основна 3D модель, розроблена за допомогою ЦММ і ЦМР	27.7	51.45	84.27	15.73
2	Покращена 3D модель створена за допомогою LiDAR з високою роздільною здатністю	32.81	57.43	88.46	11.54

Попри позитивну динаміку, кореляція даних висот демонструє менші показники для висотних споруд.

Причина криється у використанні максимальних значень висоти, отриманих з цифрової моделі місцевості, при визначенні габаритів будівлі.

Досягти такого рівня точності, застосовуючи мінімальні чи середні значення, не представляється можливим.

Справа в тому, що ці методики нездатні врахувати всі варіації висот, характерні особливо для висотних будівель.

2.1.2. Заміна даних про висоту земельної поверхні

Для дослідження впливу цифрової моделі рельєфу на точність тривимірної моделі споруди, була розроблена оновлена модель.

Її створили на основі високоточної наземної LiDAR інформації та 30-метрової цифрової моделі місцевості.

Отримані дані продемонстрували, що 31,43% від загальної кількості будівель демонстрували точність у межах ± 1 м, а 60,14% будівель досягли точності у ± 2 м (деталі див. у Таблиці 4).

Зроблені висновки підтверджують, що застосування даних LiDAR суттєво покращує точність моделювання висоти об'єктів будівництва.

Це стає критичним у місцевостях зі складним рельєфом, де застосування лише цифрових моделей місцевості з недостатньою деталізацією може спричинити значні похибки.

Таблиця 4: Результати оцінювання точності висот будівель після коригування, отриманих за допомогою LiDAR (Львів).

№п/п	Метод визначення висоти	Відсоток будівель з похибкою			Відсоток будівель з похибкою понад
		+/-1 м	+/-2 м	+/-5 м	+/-5 м
1	Основна 3D модель, розроблена за допомогою ЦММ і LiDAR	31.43	60.14	94.73	5.27

Відхилення, що перевищують ± 5 м, були виявлені лише у 5,27% усіх споруд.

Проте, більшість ситуацій, де зафіксовані такі суттєві відхилення, виникли через помилки у первинних або перехресних масивах інформації.

З цього випливає, що частина виявлених невідповідностей може бути зумовлена похибками, допущеними під час збору та зведення даних.

2.2 Київ

Зважаючи на інтенсивну забудову в Києві, з домінуванням багатоповерхівок і хмарочосів, моделі висот споруд потребують адаптації до цих реалій для забезпечення максимальної точності.

Відтак, для висотних об'єктів можна зафіксувати значні невідповідності між фактичними показниками висоти та обчисленими значеннями, а мінімальні похибки в цифровій моделі місцевості можуть суттєво спотворювати кінцеві результати.

З метою підвищення достовірності моделювання подібних об'єктів, необхідно застосовувати додаткові джерела інформації, зокрема, супутникові знімки високої роздільної здатності або технологію LiDAR.

Окрім того, варто проаналізувати й варіант застосування специфічних корегувальних підходів.



Рисунок 5: Приклад тривимірної моделі споруди, що побудована на основі даних, впорядкованих відповідно до висоти.

На мапі будівлі з невеликою кількістю поверхів позначено зеленим, середньої поверховості – коричневим, а багатоповерхівки – темно-коричневим.

Дослідження демонструє, що приблизно 33% будинків містяться в межах похибки ± 2 м, а 30% споруд підпадають під діапазон похибки від ± 2 м до ± 5 м.[4]

Ці дані акцентують значущість використання методів коригування для збільшення точності моделювання, особливо у великих містах із неоднорідною висотою забудови.

Ці висновки наголошують на критичності використання технік виправлення для покращення точності моделювання, зокрема для великих міських агломерацій зі значною різницею у висоті забудови.

В таблиці 5 наведено регресійні рівняння, адаптовані для підвищення якості корекції моделі забудови Києва, беручи до уваги дані про висоту з різними рівнями похибок.[5]

Використання цих рівнянь дає змогу суттєво підвищити точність 3D-моделі та забезпечити більш реалістичне відтворення будівель різної висоти в цифровій моделі міста.

Таблиця 5: Різні діапазони та значення кореляції лінійних рівнянь для підвищення точності (Київ).

№ п/п	Різниця висот (м)	Отримане значення кореляції (Київ)	Лінійне рівняння, що використовується для підвищення точності
1	5–6	0.997	$y = 1.001x - 0.071$
2	6–7	0.985	$y = 1.006x - 0.314$
3	7–8	0.989	$y = 0.978x - 2.880$
4	8–9	0.989	$y = 0.997x + 3.362$
5	11–12	0.988	$y = 0.975x - 6.329$
6	14–15	0.990	$y = 0.999x + 7.160$
7	16–17	0.961	$y = 0.953x - 12.33$
8	18–19	0.971	$y = 1.005x + 13.602$
9	>20	0.222	$y = 0.256x + 5.020$

Результати демонструють значне покращення точності 3D-моделей споруд після впровадження методики підвищення точності.

Зіставлення відсотків будівель, що потрапляють у різні інтервали точності, до та після використання методу корекції, представлено у Таблиці 6.

Таблиця 6: Відсоток 3D-моделей споруд до і після корекції точності.

№ п/п	Метод визначення висоти	Відсоток будівель з похибкою				Відсоток будівель з похибкою понад +/-10 м
		+/-1 м	+/-2 м	+/-5 м	+/-10 м	
1	Основна 3D модель, створена за допомогою ЦММ	17.66	32.96	62.26	79.78	20.22
2	Покращена 3D модель з високою роздільною здатністю	28.3	41.69	64.54	79.78	20.22

Найбільше позитивних змін помітно на низьких рівнях похибки, зокрема, на показниках +/- 1 метр та +/- 2 метри, де точність отриманих даних суттєво зросла.

Водночас, з ростом розбіжностей між реальною та отриманою висотою споруди, покращення у точності ставали все менш відчутними.

Скажімо, в межах +/- 5 метрів загальне зростання якості показників склало від 62,26% до 64,54%. [4]

На діапазоні +/-10 метрів поліпшення точності було мінімальним, що демонструє наявність обмежень у застосовуваного підходу при значних відхиленнях.

Ці дані демонструють критичність підбору оптимальної методики для покращення точності, враховуючи характеристики об'єкта та його висоту.

У випадку незначних відхилень, скажімо, 1-2 метри, кореляція значно підвищила рівень точності, однак при суттєвіших відхиленнях, у межах 5-10 метрів, ефективність застосованого методу виявилася нижчою.

У контексті Києва, де переважають висотні споруди, потенційне покращення точності досліджувалося в діапазоні від ± 1 м аж до понад ± 10 м.

Натомість, у Львові, де переважає малоповерхова забудова, максимальний діапазон, в якому проводився аналіз, склав ± 5 м.

Застосування обраної методики в Києві призвело до збільшення кількості будівель з похибкою в межах ± 1 м з 17,66% до 28,3%. У Львові аналогічний показник зріс з 27,7% до 32,81%.

У Києві, на жаль, лише приблизно 64,54% споруд відповідають вимогам точності у межах ± 5 метрів, що виглядає значно скромніше, ніж у Львові, де після вдосконалень цей відсоток злетів до 88,46%. [4]

Ба більше, навіть враховуючи застосований метод, майже п'ята частина (близько 20%) всіх київських будівель демонструє значні розбіжності у згенерованих висотах, перевищуючи ± 10 метрів.

Це чітко свідчить про потребу у подальших коригуваннях для усунення таких значних відхилень.

3. Результати дослідження

3D-моделі споруд відіграють ключову роль в аналітичних дослідженнях, проте їхнє створення традиційно пов'язане зі значними витратами часу та потребою у дорогих авторських правах даних.

В рамках цього дослідження ми дослідили можливість створення 3D-моделей будівель з використанням спрощеного підходу, спираючись на відкриті дані, які демонструють потенціал ефективного застосування в цій області.

Результати демонструють, що цифрові моделі рельєфу забезпечують більш коректні показники для низьких та середніх будівельних об'єктів, і що процедура калібрування корекції здатна суттєво збільшити точність.

Цифрові моделі рельєфу, а також цифрові моделі місцевості середньої деталізації були використані для створення контурів будівель, що містять інформацію про висоту, і їх точність була підтверджена.

Підвищення точності висот було проаналізовано статистично, використовуючи обмежений обсяг даних високої роздільної здатності.

Витрати було вдалося оптимізувати, адже такого роду інформація, зазвичай, не перебуває у відкритому доступі.

Цей метод доступний будь-кому, хто має вхідні дані у вигляді двовимірних планів забудови та даних топографічної зйомки.

Проте, у процесі роботи з цифровими моделями рельєфу можлива поява проблем, зумовлених наявністю змішаних пікселів.

Це особливо актуально, коли невеликі споруди (приблизно 30 квадратних метрів або менше) розташовані на пікселях низької роздільної здатності, які знаходяться поруч.

Використання цифрових моделей місцевості допомагає обійти ці складнощі, гарантуючи більш точне визначення висоти та форми будівель.

Це дослідження, крім іншого, показує перспективність застосування вибіркового даних з цифрових моделей місцевості та рельєфу, що характеризуються високою роздільною здатністю, задля покращення точності створюваних тривимірних моделей.

Зокрема, такі моделі можуть значною мірою підвищити надійність визначення висоти будівельних об'єктів.

В тих випадках, коли дозволяла наявна інформація, ми прагнули використовувати цифрові моделі рельєфу з високою роздільною здатністю.

За відсутності фактичних даних, варто вдаватись до альтернативних методів: використовувати показники середньої висоти рівнин та найнижчих точок горбистих теренів.

Дослідження підкреслює важливість формування геопросторових ресурсів загального доступу, таких як високоточні відкриті цифрові моделі рельєфу.

Це дозволить реалізовувати потенціал даних у створенні тривимірних моделей, забезпечуючи точне визначення висоти будівельних об'єктів незалежно від умов навколишнього середовища.

Наші аналітичні дані демонструють, що тривимірні моделі, сформовані згідно зазначеної методики, вирізняються найвищою вірогідністю у містах на кшталт Львова.

Тут домінує малоповерхова забудова, що сприяє отримання високоточних результатів.

У Києві, де урбаністичний ландшафт сформовано переважно висотними будівлями, показник точності суттєво поступається.

Зокрема, у Львові зафіксовано наступну статистику: 27,7% споруд було ідентифіковано з похибкою ± 1 метр, для 51,45% похибка становила ± 2 метри, а для 84,27% - ± 5 метрів.[4],[6]

На противагу цьому, у Києві спостерігаємо наступну картину: точність у межах ± 1 метра властива лише для 17,66% будівель; у діапазоні ± 2 метри - для 32,96% об'єктів, а в межах ± 5 метрів - для 62,26% споруд.

Нижча точність, зафіксована в Києві, виникає з огляду на щільність багатоповерхівок, які переважають над забудовою у Львові.

Варто наголосити, що цифрові карти рельєфу демонструють високу деталізацію у відношенні до об'єктів невеликої та середньої висоти.

Разом з тим, можуть спостерігатися суттєві неточності при вимірюванні параметрів екстремально високих споруд.

Наше дослідження присвячене аналізу будівель, чия висота перевищує 2 метри, та результати продемонстрували добру точність визначення їхніх параметрів.

Отже, навіть без використання додаткових технік для покращення точності, цей метод показує кращі результати у містах, де переважає мало- та середньоповерхова забудова, на відміну від міст з висотними будівлями.

Застосування методики удосконалення 3D-моделі до міста Львів продемонструвало покращення точності.

Відсоток споруд з точністю ± 1 м збільшився з 27,7% до 32,81%, а частка будівель з точністю ± 2 м зросла з 51,45% до 57,43%. [4]

Проте, цей метод має певні обмеження, оскільки він усуває лише систематичні похибки, а випадкові помилки не коригуються.

Однією з ключових переваг такого підходу є можливість генерувати тривимірну модель з будь-яких двовимірних даних про будівлі, комбінуючи їх із цифровою моделлю рельєфу. Кожен, хто має двовимірні дані про будівлю, може сконструювати модель висоти, застосовуючи інформацію з цифрової моделі місцевості.

З плином часу, коли стануть доступними більш високоточні цифрові моделі рельєфу, застосована методика може бути використана для

покращення рівнів деталізації (LOD), створюючи таким чином більш точні тривимірні моделі, що описують детальну геометрію об'єкта.

На рівних територіях середнє значення висоти поверхні визначається за цифровою моделлю місцевості (ЦММ), у той час як для горбистих місцевостей висоти можна отримати з альтернативних джерел, таких як дані контурної топографії чи знімки із супутників.

Даний спосіб дає можливість генерувати 3D-моделі на рівні деталізації LOD1 для різноманітних міських контекстів.[4]

Використання наборів даних високої роздільної здатності з вищими рівнями LOD є реалістичним, проте їх розробка потребує значних фінансових витрат, а велика кількість випадків застосування не вимагає настільки точної інформації про рельєф.

Для чималої кількості практичних задач достатньо вдалого компромісу між інформативністю, зручністю застосування і рівнем деталізації, який пропонує модель LOD1.

Ці моделі, по суті, найпростіші у тривимірному просторі, але вони надзвичайно корисні в конкретних областях, як-от енергетичне прогнозування, аналіз ринку нерухомості чи демографічне моделювання.

Потрібний рівень деталізації, що визначається як LOD, залежить від специфіки поставленого завдання.

Якщо, наприклад, мова йде про оцінку кількості мешканців певного регіону, і LOD1 відповідає вимогам, то запропонована методика може значно прискорити генерацію необхідних даних.

До того ж, безкоштовні та відкриті набори даних, на кшталт LANDSAT та SENTINEL, мають величезний потенціал для складання карт мегаполісів.[4]

Оскільки даний підхід спирається на відкриті набори даних, це сприяє економії часу та ресурсів, пропонуючи ефективний спосіб створення 3D-інформації з мінімальними фінансовими затратами.

Висновки

Наша бакалаврська праця пропонує методологію генерування 3D-моделей будівель на основі відкритих даних, що легко адаптується для глобального застосування.

Ключовим завданням даного дослідження є аналіз якості автоматизованого процесу створення 3D-моделей будівель, використовуючи виключно дані з відкритих джерел.

Цей підхід демонструє економічну вигідність та представляє особливий інтерес для різноманітних користувачів.

До того ж, розроблений метод значною мірою автоматизований, що дозволяє оперативно створювати 3D-моделі міст, суттєво скорочуючи час на їх розробку.

Він демонструє велику гнучкість та може бути налаштований для досягнення кращої точності, за наявності більш деталізованих даних.

Завдяки використанню відкритих даних з помірною роздільною здатністю, цей метод особливо актуальний для досліджень, які не потребують надто деталізованих моделей та специфічних подробиць.

Наприклад, він є ефективним для досліджень глобальних екологічних трендів, процесів зміни клімату, моделювання міського клімату, оцінки ризиків та вразливості до стихійних лих, а також в енергетичному моделюванні.

У майбутньому цей підхід потенційно може бути розширений за рахунок використання альтернативних джерел 2D-даних.

Це набуває особливої ваги, коли дані з контролю якості стають легше досяжними, або ж з'являються більш точні відомості про ландшафт, отримані завдяки технології LiDAR чи іншим прогресивним методам вимірювання.

Список використаних джерел

1. Бакалаврська робота. Методичні вказівки. За ред. проф. Полянської А. С., доц. Станьковської І.М., доц. Вербовської Л. С. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 42 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. Стандарт України. Вид. офіц. [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
3. Лазарева О. В. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» : методичні вказівки / О. В. Лазарева, С. М. Смирнова. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 28 с. (Методична серія ; вип. 383).
4. Girindran, R.; Boyd, D.S.; Rosser, J.; Vijayan, D.; Long, G.; Robinson, D. On the Reliable Generation of 3D City Models from Open Data. *Urban Sci.* 2020, 4, 47. <https://doi.org/10.3390/urbansci4040047>
5. Джонс, Р.Р.; МакКері, К.Дж.В.; Клегг, П.; Вілсон, Р.В.; Холліман, Н.С.; Холдсворт, Р.Е.; Імбер, Дж.; Вагготт, С. Інтеграція регіональних цифрових даних з даними про виходи на поверхню: 3D-візуалізація багатомасштабних геологічних моделей. *Comput. Geosci.* 2009, 35, 4–18.
6. Остером, П.В. Дослідження та розробки в 3D-кадастрах. *Comput. Environ. Urban Syst.* 2013, 40, 1–6.
7. Гаруані, А.Е.; Алобейд, А.; Гаруані, С.Е. Цифрова модель поверхні на основі стереопар аерофотознімків для 3D-будівництва. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2014, 3, 119–126.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

**« Оцінка якості створення 3D моделей міст на основі
відкритих геопросторових даних ».**

Обсяг пояснювальної записки: ____ аркуша.

_____ рік
(дата)

(підпис студента)