

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

С. Г. Нестеренко,
О. В. Афанасьєв

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Нестеренко С. Г. Геоінформаційна система міського господарства : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 113 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. С. Г. Нестеренко,
канд. техн. наук, доц. О. В. Афанасьєв

Рецензент

Ю. Б. Радзінська, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

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

© С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв, 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕЛЕМЕНТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА. ФОРМУВАННЯ БАЗИ ГЕОДАНИХ	8
ТЕМА 1 НАПРЯМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	8
1.1 Вивчення особливостей ГІС міського господарства	8
1.2 Концепція, визначення, ключові компоненти ГІС міського господарства.....	10
ТЕМА 2 ОСНОВИ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	12
2.1 Типи геоданих.....	12
2.2 Просторові об'єкти.....	19
2.3 Координатні системи міського господарства	22
ТЕМА 3 ГЕОДАНИ В МІСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	25
3.1 Джерела даних міської інфраструктури	25
3.2 Створення та збір інформації для міської інфраструктури.....	27
ТЕМА 4 ІНТЕГРАЦІЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДАНИХ У МІСЬКУ ГІС	29
4.1 Вивчення форматів геоданих, шарів інформації міської ГІС.....	29
4.2 Особливості перетворення даних	31
ТЕМА 5 СТВОРЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ГЕОДАНИХ ДЛЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА.....	35
5.1 Процеси проєктування бази геоданих.....	35
5.2 Структурування інформації міського господарства.....	39
ТЕМА 6 МЕТАДАНИ ТА ЇХНЯ РОЛЬ В УПРАВЛІННІ ГЕОДАНИМИ	44
6.1 Етапи створення, управління метаданими міського середовища.....	44
6.2 Зберігання метаданих міського середовища	47

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТІВ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	51
ТЕМА 7 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ОБ’ЄКТІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	51
7.1 Особливості моделювання різних типів об’єктів у міському середовищі.	51
7.2 Моделювання міських будівель, доріг, інфраструктури.....	53
ТЕМА 8 ЦИФРОВІ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ТА ПОВЕРХНІ ДЛЯ МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ	58
8.1 Методи створення цифрових моделей рельєфу та поверхонь.	58
8.2 Особливості використання цифрових моделей рельєфу в міському плануванні	60
ТЕМА 9 МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ ТА КОМУНІКАЦІЙ..	63
9.1 Аналіз транспортної доступності.	63
9.2 Оптимізація міських маршрутів	67
ТЕМА 10 МОДЕЛЮВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ	70
10.1 Моделювання мереж водопостачання.	70
10.2 Моделювання мереж електропостачання	72
10.3 Моделювання мереж теплопостачання.....	74
ТЕМА 11 ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА	77
11.1 Методи спостереження міського середовища	77
11.2 Аналіз змін у міському просторі.....	79
ТЕМА 12 ГІС ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МІСЬКОЮ ЗАБУДОВОЮ.	82
12.1 Оцінка земельних ресурсів міста.....	82
12.2 Контроль розвитку інфраструктури	84

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	86
ТЕМА 13 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У МІСЬКОМУ ПЛАНУВАННІ ТА ПРОЄКТУВАННІ	86
13.1 Аналіз використання земель міста	86
13.2 Підтримка ухвалення рішень у міському господарстві з використанням ГІС	88
ТЕМА 14 ГІС ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В МІСЬКИХ УМОВАХ.....	91
14.1 Оцінка стану навколишнього середовища з використанням ГІС... ..	91
14.2 Управління ресурсами, оцінка ризиків та екологічних впливів	93
ТЕМА 15 ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	96
15.1 Особливості планування доріг із використанням ГІС.....	96
15.2 Планування громадських споруд та зон рекреації.....	98
ТЕМА 16 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГІС ДЛЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	102
16.1 Процеси використання БПЛА в міському середовищі.....	102
16.2 Особливості 3D-моделювання, інтеграція ГІС із BIM	104
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	107

ВСТУП

Метою дисципліни «Геоінформаційна система міського господарства» є формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок щодо застосування геоінформаційних технологій для управління міськими ресурсами та інфраструктурою. Студенти повинні навчитися використовувати сучасні ГІС-інструменти для збору, аналізу, моделювання і візуалізації просторових даних, що є необхідними для ефективного планування та ухвалення рішень у сфері міського господарства.

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на знання з дисципліни Кадастрово-реєстраційні системи.

Зміст курсу «Геоінформаційна система міського господарства» для здобувачів спеціальності «Геодезія та землеустрій» представлено в таких темах:

1. Напрями геоінформаційних систем міського господарства.
2. Основи просторових даних міського господарства.
3. Геодані в міському господарстві.
4. Інтеграція різних типів даних у міську ГІС.
5. Створення та управління базами геоданих для міського господарства.
6. Метадані та їхня роль в управлінні геоданими.
7. Моделювання просторових об'єктів у міському середовищі.
8. Цифрові моделі рельєфу та поверхні для міського планування.
9. Моделювання транспортних мереж та комунікацій.
10. Моделювання інженерних мереж.
11. Геоінформаційний моніторинг міського середовища.
12. ГІС для управління міською забудовою.
13. Застосування ГІС у міському плануванні та проектуванні.
14. ГІС для екологічного моніторингу в міських умовах.
15. Просторовий аналіз для оптимізації міської інфраструктури.
16. Інноваційні технології в ГІС для міського господарства.

У межах цього курсу виокремлюють три змістові модулі:

1. Елементи геоінформаційної системи міського господарства.

Формування бази геоданих.

2. Моделювання об'єктів міського господарства.

3. Прикладні аспекти застосування інструментарію геоінформаційних технологій для вирішення задач міського господарства.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

– застосовувати геопросторові моделі міського господарства під час вирішення прикладних завдань;

– ухвалювати управлінські рішення у сфері міського господарства на основі застосування геопросторових моделей.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕЛЕМЕНТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА. ФОРМУВАННЯ БАЗИ ГЕОДАНИХ

ТЕМА 1 НАПРЯМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

План

1.1 Вивчення особливостей ГІС міського господарства.

1.2 Концепція, визначення, ключові компоненти ГІС міського господарства.

1.1 Вивчення особливостей ГІС міського господарства

Геоінформаційні системи міського господарства (ГІС МГ) виступають як комплексні технологічні платформи, здатні забезпечувати просторово-орієнтоване управління усіма функціональними складовими міської інфраструктури. Особливість їх застосування полягає у здатності інтегрувати різноманітні джерела геопросторових і семантичних даних, що відображають динамічну природу міських процесів. Міське господарство характеризується високим ступенем складності: взаємодією технічних, соціальних, екологічних та економічних систем, кожна з яких потребує регулярного моніторингу, моделювання та оптимізації. Саме ГІС надає інструментарій, який дозволяє здійснювати багаторівневий аналіз цих процесів із просторовою прив'язкою.

ГІС МГ відрізняються від традиційних геоінформаційних систем розширеним функціоналом, що передбачає підтримку міських служб різного призначення в ухваленні рішень, візуалізації територіального розвитку, управлінні інженерною інфраструктурою та комунальними послугами. На відміну від систем загального призначення, ГІС для міського господарства

адаптовані до потреб муніципального управління, зокрема вони включають спеціалізовані модулі для планування забудови, інвентаризації міських об'єктів, контролю за рухом транспортних потоків, утримання зелених зон, енергопостачання, водовідведення та інших важливих сфер функціонування міста [1, 3, 6].

Особливої актуальності набуває використання ГІС в питаннях інтенсивної урбанізації, зростання населення міст та потреби в більш сталому управлінні міськими ресурсами. Застосування цифрових геоінформаційних платформ дозволяє мінімізувати помилки в управлінні, зменшити витрати, оперативно реагувати на надзвичайні ситуації та підвищити прозорість у діяльності органів місцевого самоврядування. Крім того, ГІС є ефективним інструментом для залучення громадськості до управлінських процесів через відкриті карти, онлайн-сервіси і сервіси електронної демократії [2, 4].

Вивчення особливостей таких систем також передбачає врахування складної архітектури їхньої побудови. Це насамперед багатокомпонентні системи, що поєднують апаратні засоби збору та передачі даних (БПЛА, GNSS-приймачі, сенсори міського середовища), програмне забезпечення для зберігання, обробки й аналізу інформації, бази даних і сервіси візуалізації. Роль ГІС зростає в умовах впровадження концепції «розумного міста» (Smart City), де геоінформаційна платформа стає ядром інтеграції інформаційних потоків з різних сфер: енергетики, транспорту, логістики, безпеки та навколишнього середовища [5, 7].

Загалом, сучасні тенденції розвитку ГІС МГ демонструють перехід від статичних картографічних платформ до динамічних цифрових двійників міста, які дозволяють здійснювати не лише візуалізацію, а й прогнозування та симуляцію міських процесів у реальному часі. Таким чином, геоінформаційні системи міського господарства стають стратегічно важливим елементом цифрової трансформації міського управління та сталого розвитку урбанізованих територій [1, 3, 5].

1.2 Концепція, визначення, ключові компоненти ГІС міського господарства

Геоінформаційна система міського господарства (ГІС МГ) є спеціалізованою інформаційною системою, призначеною для збирання, зберігання, обробки, аналізу та візуалізації геопросторових і атрибутивних даних, що характеризують об'єкти та явища міського середовища. Концептуально така система забезпечує функціональну інтеграцію цифрових картографічних шарів, баз даних, інженерно-технічної інформації, сервісів аналізу та інтерфейсів для ухвалення управлінських рішень у межах урбанізованої території [1, 3].

На відміну від загальних ГІС, системи міського господарства формуються як мультидисциплінарні платформи, що об'єднують урбаністику, інженерію, екологію, соціальне планування та інші суміжні галузі знань. Їхня концепція передбачає просторове відображення інфраструктурних об'єктів, таких як дороги, будівлі, мережі комунікацій, а також нематеріальних показників: демографічної структури, екологічних проблем, транспортної доступності тощо [2, 4]. У цьому сенсі ГІС МГ функціонує як середовище, в якому здійснюється цифрове представлення урбаністичного простору з високим рівнем деталізації та аналітичної складності.

У загальному вигляді, ГІС визначається як комп'ютерно-орієнтована система, що поєднує в собі апаратне забезпечення, програмні засоби, просторові дані, методи аналізу та персонал, який забезпечує її функціонування. У випадку міського господарства акцент переноситься на необхідність оперативної актуалізації даних, високої інтегрованості з іншими інформаційними системами та орієнтацію на ухвалення рішень у реальному часі. Зокрема, це стосується таких задач, як прогнозування навантаження на інженерні мережі, управління зеленими зонами, контроль за стихійною забудовою, моделювання транспортних потоків тощо [5, 6].

Основними компонентами ГІС МГ є:

- блок збирання та введення даних, що охоплює використання мобільних додатків, безпілотних літальних апаратів, GPS/GLONASS-систем, лазерного сканування та дистанційного зондування Землі;
- база геопросторових даних, яка акумулює цифрові плани, топографічну інформацію, інженерні схеми, зональні регламенти, екологічні дані;
- картографічний модуль, що відповідає за відображення даних на електронних картах, з можливістю тематичного структурування, масштабування та шарового представлення;
- аналітичний модуль, який реалізує просторовий аналіз, побудову сценаріїв розвитку територій, виявлення кореляцій та трендів;
- інтерфейс ухвалення рішень, що забезпечує візуалізацію результатів аналізу та надає інтерактивні інструменти для фахівців і управлінців [1, 3, 7].

Також вагоме місце займає компонент інтеграції з зовнішніми системами - містобудівним кадастром, системами обліку комунальних послуг, реєстрами нерухомості, платформами електронного врядування. Це дозволяє підвищити ефективність міжвідомчої координації та забезпечити актуальність даних у цифровій екосистемі міста [6].

Визначальним елементом сучасної концепції ГІС МГ є орієнтація на використання відкритих стандартів (наприклад, OGC) і хмарних технологій. Це дає змогу масштабувати системи, забезпечити відмовостійкість, доступність з різних пристроїв і платформ. Крім того, поява інтелектуальних алгоритмів (на базі штучного інтелекту та машинного навчання) дозволяє здійснювати прогнозування міського розвитку, оптимізувати витрати на обслуговування інфраструктури та реалізовувати принципи адаптивного управління [4, 5].

Отже, геоінформаційна система міського господарства – це не лише набір технологій, а концептуальна основа цифрового управління містом, що вимагає комплексного підходу до її проєктування, впровадження і супроводу. Її успішне функціонування можливе за умови високої якості вихідних даних, компетентного персоналу, наявності правових і організаційних механізмів підтримки та постійного оновлення інфраструктури [1, 2, 6].

ТЕМА 2 ОСНОВИ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

План

2.1 Типи геоданих.

2.2 Просторові об'єкти.

2.3 Координатні системи міського господарства.

2.1 Типи геоданих

Геодані відіграють важливу роль у сучасному міському господарстві, оскільки вони дають змогу описувати, аналізувати та візуалізувати різноманітні просторові явища та об'єкти, що формують урбанізоване середовище. У наукових дослідженнях і практичній діяльності містопланування, просторові дані є фундаментом для ухвалення стратегічних і тактичних рішень [6]. Вони охоплюють інформацію про дороги, будівлі, зелені зони, інженерну інфраструктуру, демографічні показники, екологічні параметри тощо.

Загалом поняття «тип геоданих» стосується формату і структури зберігання просторової інформації, методів її збору і способів представлення в геоінформаційних системах (ГІС). Залежно від характеру просторового відображення, геодані можна розділити на кілька базових категорій: векторні, растрові, тривимірні (3D), часово-просторові та метадані. Окрім того, залежно від застосування в конкретних задачах міського господарства, виділяють також мережеві дані, дані від дистанційного зондування (супутникові та аерофотознімки) тощо.

1. Векторні геодані [4]. Векторний формат є одним із найпопулярніших у системах ГІС, особливо коли йдеться про описання об'єктів із чіткими просторовими межами. У векторному підході всі елементи моделі описуються за допомогою геометричних примітивів: точок, ліній (дуг) або полігонів

(багатокутників). Кожен примітив має просторові координати, які вказують на його розміщення на карті.

Точкові об'єкти зазвичай моделюють реальні об'єкти, котрі займають незначну площу порівняно зі шкалою відображення або не мають розмірів, важливих для аналітичного опису. У міському господарстві точкові об'єкти можуть представляти, наприклад, ліхтарні стовпи, дорожні знаки, пожежні гідранти, поштові скриньки або насадження дерев.

Лінійні об'єкти описують явища, які поширюються у просторі вздовж певних маршрутів чи комунікацій. Мережі доріг, трубопроводів, лінії електропередач, залізничні колії, велосипедні доріжки — усе це приклади лінійних об'єктів, що становлять основу міської інфраструктури. Лінійні об'єкти можуть бути подані як набори сегментів, які з'єднують точки (вузли) мережі. Для таких геоданих важливою є інформація про довжину об'єкта, пропускну здатність (для транспортних мереж), матеріал (для трубопроводів), тип покриття (для доріг) тощо. В аналізі транспортної інфраструктури лінійні об'єкти дозволяють досліджувати та моделювати трафік, планувати нові маршрути громадського транспорту, оцінювати вплив перекриття доріг на мобільність мешканців [4, 6].

Полігональні об'єкти використовують у ситуаціях, коли необхідно відобразити території з чіткими межами та вимірною площею. До прикладу, будівлі, земельні ділянки, квартали, парки, штучні водойми, адміністративні райони чи будь-які інші просторові одиниці, які мають власні границі. Полігони формуються шляхом з'єднання послідовності точок у замкнену лінію. В задачах міського господарства полігональні геодані є найважливішими для задач просторового планування, зонування, кадастрового обліку, моніторингу стану забудови, планування зелених зон тощо [6].

Векторні геодані відзначаються високою точністю і придатністю до топологічного аналізу [6]. Завдяки топологічним відносинам (наприклад, «суміжність», «належність», «перетин») можна швидко визначати сусідні будівлі, шукати оптимальні маршрути між точками (вузлами), виконувати

буферизацію – створювати зони впливу певного об'єкта. Великий плюс векторних даних – це можливість відносно легко змінювати масштаб і проєкцію, зберігаючи чіткість ліній і меж.

2. Растрові геодані [4]. На відміну від векторної моделі, растрова модель описує простір як набір (матрицю) пікселів (комірок), кожна з яких має певне значення якоїсь характеристики (кольору, відбиття тощо). Найчастіше цей тип геоданих використовується для зображень – супутникових знімків, аерофотозйомки, сканованих карт. Однак растрові дані застосовують і для відображення таких безперервних полів, як висота рельєфу, температура, вологість тощо.

Супутникові знімки і аерофотознімки. Завдяки розвитку космічних технологій та безпілотних літальних апаратів міста мають доступ до величезної кількості зображень високої роздільної здатності. Наприклад, супутникові дані дають змогу аналізувати динаміку забудови, стан зелених зон, рівень урбанізації. Для міського господарства це відкриває можливості швидко оцінювати наслідки стихійних лих (повеней, пожеж), планувати капітальні роботи, виявляти нелегальні будівництва. Аерофотознімки, зняті з БПЛА, забезпечують детальніші види окремих районів чи будівництва, дозволяючи виявити мікрорівневі проблеми (наприклад, пошкодження покрівель, стан фасадів) [6].

Цифрові моделі рельєфу [6]. Цифрова модель рельєфу – це приклад растрових даних, де кожен піксель відображає висоту поверхні над певним геодезичним базисом. У міському господарстві ЦМР застосовують для аналізу інженерних мереж (наприклад, схеми водовідведення), планування будівельних робіт на складному рельєфі, оцінки ризиків підтоплень. На базі ЦМР можна створювати похідні продукти — карти крутизни схилів, орієнтації схилів, аналізувати водозбірні басейни тощо.

Тематичні растри [6]. Окрім власне зображень, існують «тематичні» растри, де кожна комірка має не відтінок кольору, а категорійне чи кількісне значення (наприклад, тип покриття землі, щільність населення, рівень шуму).

Такі дані можуть бути результатом класифікації супутникових знімків або даних дистанційного зондування, а також різноманітних геостатистичних методів інтерполяції.

В цілому, растрові дані ідеально підходять для аналізу безперервних явищ і для візуалізації поверхонь, натомість векторні кращі для відображення об'єктів з чіткими межами. Часто у міському господарстві застосовують гібридні підходи, коли растрові та векторні дані інтегруються в межах єдиної ГІС для досягнення максимальної інформативності.

3. Тривимірні (3D) геодані [7]. Сучасні інструменти ГІС дедалі частіше пропонують можливості тривимірної візуалізації міських ландшафтів. З огляду на складність урбаністичного середовища, 3D-моделі є особливо корисними для низки завдань:

- моделювання архітектурних та будівельних проєктів;
- аналіз інсоляції (кількість сонячного випромінювання на фасади або ділянки);
- визначення зон шумового впливу;
- перевірка видимості (наприклад, при розміщенні рекламних конструкцій чи відеокамер безпеки);
- оцінка впливу нових висотних споруд на панораму міста тощо.

Тривимірні геодані можуть бути отримані з різних джерел. Популярними методами є лазерне сканування (LiDAR), яке забезпечує високу точність рельєфу та обрисів будівель. Фотограмметрія з використанням дронів, які роблять серію перекритих знімків, також дає змогу створювати 3D-моделі. Крім того, існують готові бази 3D-будівель у форматах CityGML, KML тощо. Усі ці дані містять геометрію об'єктів і можливі додаткові семантичні атрибути, як-от матеріал фасаду, кількість поверхів, призначення будівлі [6].

Тривимірні моделі дають змогу віртуально «пройтися» вулицями і оцінити, як запропонований проєкт забудови впишеться в існуюче середовище. Для розрахунку інсоляції чи затінення програмні пакети використовують алгоритми просторової геометрії, аналізуючи, в які години сонячні промені

досягають різних ділянок, або як поширюється тінь від висотних споруд. Це стає особливо актуальним у щільній забудові, де питання комфортності проживання напряму пов'язане з природним освітленням. Подібні аналізи також корисні при виборі місць для сонячних панелей чи зелених дахів [5].

Окрім «надземної» частини, у містах існує розгалужена система тунелів, колекторів, інженерних мереж. У деяких сучасних ГІС можливо створювати 3D-моделі підземної інфраструктури, що допомагає ефективніше координувати ремонтні роботи, уникати пошкоджень комунікацій під час будівництва.

4. Часові (часово-просторові) геодані [8]. У міському середовищі все постійно змінюється: з'являються нові будівлі, змінюється транспортна мережа, зростає чи зменшується чисельність мешканців конкретного району тощо. Тому статичний знімок міста у певний момент часу може бути недостатньо інформативним. Часово-просторові дані дозволяють аналізувати динаміку міських процесів у часі.

Приклади часових змін:

- розширення забудови: як поступово змінювалися межі міста, де з'явилися нові райони, яким було первинне використання земель;
- транспортні потоки: в які години спостерігаються затори, які маршрути є перевантаженими в пікові періоди;
- демографічні процеси: зміни чисельності населення, його вікового складу, міграційних потоків між районами;
- стан довкілля: моніторинг забруднення повітря, рівня шуму, кількості зелених насаджень упродовж кількох років.

Для реалізації часових зрізів у ГІС кожен об'єкт зберігає просторову та тимчасову інформацію: дата створення, дата оновлення, період дії. Це дає можливість «програвати» зміни за певний проміжок часу, виявляти тренди та прогнозувати майбутні сценарії розвитку міста. Зокрема, інструменти анімації часово-просторових даних дозволяють наочно побачити еволюцію забудови кварталу або зміни ландшафту [8].

Мережеві геодані. У межах міського господарства часто доводиться працювати з «мережами» – транспортними, інженерними, інформаційними. Мережеві дані містять вузли та ребра (лінії), що описують складну інфраструктуру, по якій здійснюється потік людей, транспорту, води, електроенергії тощо [8].

Аналіз транспортних мереж (доріг, автобусних маршрутів, залізниць) дає змогу визначати оптимальні шляхи пересування, розраховувати час у дорозі, виявляти точки перевантаження і перехрестя з високим рівнем аварійності. У містах із розумним плануванням дані про громадський транспорт оновлюються в реальному часі, що дозволяє відстежувати рух автобусів і трамваїв та оперативно реагувати на затори.

Завдяки мережевим геоданим можна координувати прокладання та ремонт газопроводів, водогонів, теплотрас, електричних кабелів, мінімізуючи вартість та незручності для населення. Якщо відома схема підземних комунікацій, при аварійній ситуації можна швидко визначити, які ділянки постраждають, як відключити пошкоджений відрізок, щоб мінімізувати втрати.

6. Дані дистанційного зондування [10]. Сучасні методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) надають багатий матеріал для міського господарства. Використання супутникових знімків чи аерофото дає оперативну інформацію про стан забудови, зелених насаджень, водойм. Крім візуального аналізу, в дослідженнях застосовується спектральний аналіз, який дозволяє виявляти специфічні ознаки (типи рослинності, наявність теплових аномалій, забруднення).

Знімки можуть містити дані в різних діапазонах електромагнітного спектра (видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому тощо). Обробка таких знімків дає змогу розрізняти різні типи поверхонь: асфальт, бетон, ґрунт, траву, дерева. У міському плануванні це важливо для інвентаризації земель, планування зелених зон, виявлення незаконного будівництва [10].

Радарні супутники (наприклад, Sentinel-1) можуть працювати незалежно від хмарності і часу доби, що дозволяє отримувати дані про рух ґрунту,

осідання будівель, наявність повеней і підтоплень. Для мегаполісів із високими будівлями радарна інтерферометрія є ефективним методом моніторингу стабільності споруд [10].

7. Метадані [8]. Метадані – це «дані про дані», які описують джерело, автора, час створення, методи збору, точність, проєкцію та інші ключові атрибути самих геоданих. У міському господарстві метадані забезпечують прозорість, відтворюваність і сумісність даних між різними департаментами та інституціями. Наприклад, якщо в транспортному департаменті є шари з дорогами й маршрутами, а в кадастровому – інформація про земельні ділянки, то для їх безпроблемного злиття необхідно знати систему координат та формат зберігання. Метадані допомагають швидко оцінити придатність набору даних для конкретного завдання й запобігти помилкам, пов'язаним із некоректними джерелами.

Існують міжнародні та національні стандарти для оформлення метаданих, наприклад ISO 19115. У межах Європейського Союзу діє Директива INSPIRE, яка вимагає дотримання структурованих підходів до формування метаданих для просторової інформації. Це підвищує інтероперабельність та полегшує обмін даними між державними органами [9].

Для міського господарства особливо актуальне питання точності, актуальності та повноти геоданих. Якщо база даних про дорожню мережу містить застарілу інформацію чи пропущені вулиці, це може призвести до помилок у маршрутизації, недоцільних витрат при ремонті доріг. Тому збір та оновлення даних вимагає чітко прописаних регламентів, використання надійних джерел і застосування перевірених способів верифікації [9].

Різноманітність типів геоданих – векторні, растрові, 3D, часово-просторові, мережеві, дані дистанційного зондування, а також метадані – створюють універсальну основу для комплексного аналізу та управління міськими територіями. Успішне функціонування сучасного міста великою мірою залежить від здатності впроваджувати й підтримувати актуальну, точну та якісну базу просторових даних. Об'єднання різних типів геоданих у межах

інтегрованих ГІС-рішень допомагає оптимізувати інфраструктуру, забезпечує екологічну стабільність, покращує надання послуг населенню й сприяє зваженому плануванню майбутнього розвитку [9].

2.2 Просторові об'єкти

Просторові об'єкти є базовим поняттям у геоінформаційному середовищі, зокрема в контексті міського господарства. Вони охоплюють усі сутності, які можуть бути відображені на плані міста або на географічній карті та мають певне географічне положення [11]. Просторові об'єкти віддзеркалюють реальні елементи міської інфраструктури: будівлі, дороги, мости, парки, інженерні мережі, а також природні компоненти (річки, водойми, рельєф) і адміністративні границі. Їх чітке визначення, класифікація й аналіз створюють підґрунтя для ухвалення рішень у містобудівному плануванні, організації транспортних потоків, управлінні земельними ресурсами, екологічному моніторингу тощо [4].

У найзагальнішому сенсі просторовий об'єкт – це будь-яка сутність, що може бути ідентифікована і локалізована в географічному просторі за допомогою координат. Геоінформаційні системи дозволяють зберігати та обробляти не тільки геометрію (форму і розташування) об'єкта, а й описові атрибути – текстову або числову інформацію про нього. У міському контексті атрибути можуть охоплювати дані про власника будівлі, рік побудови, кількість поверхів, функціональне призначення, матеріали конструкцій, наявність комунікацій тощо [6].

Таким чином, просторовий об'єкт у міському господарстві виконує подвійну роль [11]:

1. Геометричне представлення. Де саме він розташований, як він виглядає за формою, розмірами, орієнтацією.

2. Семантичне наповнення. Яку функцію об'єкт виконує, до якого класу належить, які має характеристики (наприклад, кількість мешканців у будинку, рівень благоустрою тощо).

З огляду на векторну модель даних, просторові об'єкти здебільшого розглядають у вигляді точок, ліній та полігонів. Утім, у сучасній ГІС-практиці є також складніші типи (наприклад, 3D-об'єкти та багатокомпонентні об'єкти).

1. Точкові об'єкти (Point Features). Вони є геометрично найпростішими. Точка вказує на певне місце в просторі за допомогою двох або трьох координат (X, Y, іноді Z). У масштабі міста точкові об'єкти можуть відображати дрібні, але чисельно значущі елементи інфраструктури: стовпи освітлення, сміттєві контейнери, зупинки громадського транспорту, дорожні знаки.

2. Лінійні об'єкти (Line Features). Лінії відображають витягнуті в одному або кількох напрямках об'єкти, які мають довжину, але незначну (або формально нульову) ширину порівняно зі шкалою відображення. Сюди належать дороги, трубопроводи, лінії електропередач, велосипедні доріжки, річки (у картографічному спрощенні), залізничні колії.

3. Полігональні об'єкти (Polygon Features). Полігони застосовуються, коли йдеться про території з чітко визначеними межами та вимірюваною площею. Це можуть бути парки, квартали, водойми, футбольні поля, промислові зони, адміністративні райони, будівлі.

4. Багатокомпонентні об'єкти (Multi-part Features). Вони складаються з кількох окремих геометричних компонентів, але об'єднані смислово в одну сутність.

5. 3D-об'єкти. З поширенням 3D-моделювання у ГІС з'являється можливість зберігати та відображати не лише двовимірну проєкцію об'єкта, а й його висоту, глибину чи більш детальну геометрію. Тривимірні просторові об'єкти дають змогу відтворити будівлю з усіма архітектурними елементами, не обмежуючись проєкцією «згори».

Топологія в геоінформаційних системах визначає правила просторової суміжності та взаємодії між об'єктами [9]. У міському середовищі топологія надзвичайно важлива, оскільки:

- сусідство (adjacency) дозволяє виявити, які полігональні об'єкти (наприклад, райони) прилягають один до одного;
- перетинання (intersection) допомагає визначити, які шари інфраструктури знаходяться у спільній зоні (наприклад, дорога та комунікаційні мережі);
- роздільність (disjoint) свідчить про те, що два об'єкти не мають спільних точок (наприклад, коли окремі будівлі не накладаються одна на одну);
- вкладеність (containment) має значення для об'єктів, які повністю містяться у межах інших (наприклад, озеро всередині парку).

Завдяки топології можна створювати «розумні» запити: знаходити всі будівлі, що прилягають до магістральної вулиці, виявляти перетини інженерних мереж, визначати перелік будинків у межах певного району тощо.

Окрім суто геометричних параметрів, кожен об'єкт має набір атрибутів, що описують його сутність і функції. У міському господарстві ці атрибути можуть бути надзвичайно різноманітними [4]:

- ідентифікаційні: унікальний код або назва об'єкта (наприклад, назва вулиці, кадастровий номер ділянки, код будівлі);
- адресні: адреса, поштовий індекс, прив'язка до вулиці, номер будинку;
- операційні: дата останнього огляду, стан ремонтів, наявність технічних несправностей;
- правові: форма власності, дозволи та ліцензії, реєстраційні дані;
- історичні: коли об'єкт збудовано, чи має статус пам'ятки архітектури, чи проводилися реконструкції;
- соціально-економічні: тип використання (житлове, комерційне, промислове), кількість мешканців, склад домогосподарств тощо.

Таке семантичне наповнення дає змогу проводити глибокі аналітичні дослідження. Наприклад, у міському плануванні можна враховувати вік

будинків, їхню щільність заселення, доступ до громадських просторів, рівень шумового забруднення. Атрибути також можуть бути змінними в часі, що дозволяє відстежувати динаміку змін – наприклад, фіксувати збільшення кількості мешканців, перепрофілювання промислових зон, заміну інженерних мереж [6].

Таким чином, просторові об'єкти виступають базовою одиницею у процесах ухвалення рішень. Знання про їхні геометричні, топологічні й атрибутивні характеристики є визначальним для багатьох галузей міського господарства: від управління землею до розвитку транспорту, від моніторингу довкілля до забезпечення комфортного проживання мешканців. Саме завдяки відповідно структурованим і якісно підтримуваним наборам просторових об'єктів місто може розвиватися збалансовано й ефективно, відповідаючи на проблеми сучасності й забезпечуючи базу даних для «розумних» технологічних рішень.

2.3 Координатні системи міського господарства

Координатні системи відіграють надзвичайно важливу роль у міському господарстві, оскільки вони дають змогу однозначно визначати місцезнаходження об'єктів на поверхні Землі та забезпечують узгодженість просторових даних у межах різноманітних ГІС-проектів. Якщо відсутня єдина домовленість щодо координат, дані з різних джерел можуть не співпадати та призводити до суттєвих помилок у проектуванні, будівництві, експлуатації інженерних мереж, транспортних систем та інших елементів міської інфраструктури [9]. Таким чином, координатні системи виступають «мовою» геодезії, картографії та геоінформатики, на якій спілкуються всі фахівці, що мають справу з просторовою інформацією. У міському господарстві найчастіше використовують географічні та проєкційні (плоскі) системи координат, причому багато міст можуть мати ще й локальні системи, призначені для вирішення завдань на місцевому рівні. Розуміння принципів побудови та застосування координатних систем потрібне не лише геодезістам, а й архітекторам,

будівельникам, містобудівникам, екологам, які планують і виконують роботи, пов'язані з просторовими об'єктами й процесами [11].

Історично першими координатними системами були географічні, засновані на широті та довготі. Вони найбільш природні для опису об'єктів на глобальному рівні, адже відображають реальні кутові відстані на референц-еліпсоїді чи кулястій моделі Землі. Кожна точка визначається комбінацією широти (куту від екватора) та довготи (куту від нульового меридіана, зазвичай Гринвіцького). Ці кути часто виражають у градусах, хвилинах і секундах або у десятковому форматі. На практиці географічні координати зручні для відображення об'єктів на глобальних чи регіональних картах, а також для узгодження даних, що надходять із GPS/GNSS-приймачів, супутникових знімків або інших засобів дистанційного зондування. Проте для більшості містобудівних задач, де важливі площини й прямолінійні відстані, географічні координати є незручними через кривизну земної поверхні та складність виконання розрахунків на сфері чи еліпсоїді. Тому зазвичай географічну систему координат або результати супутникових вимірювань перетворюють у якусь проєкцію [4, 6].

Поняття «картографічна проєкція» передбачає математичний спосіб відображення (проєктування) земної поверхні з її кривиною на площину, зберігаючи або наближаючись до збереження певних метрик: площ, форм, відстаней чи напрямків [6]. Жодна проєкція не дозволяє ідеально уникнути спотворень, тож вибір конкретної проєкції завжди пов'язаний із компромісом між різними властивостями. У міському господарстві найчастіше застосовують проєкції, що мінімізують спотворення в межах відносно невеликих територій міста чи області, щоб метричні характеристики (довжини, кути) якомога менше відрізнялися від «реальних» на земній поверхні. Наприклад, у низці країн Європи та у світі набули поширення універсальні поперечні циліндричні проєкції, такі як UTM (Universal Transverse Mercator), де всю поверхню Землі поділено на зони, і в кожній з них своя локальна система координат. При цьому для деяких країн, зокрема й для України, існують державні системи координат на основі проєкції Гаусса – Крюгера або ж

новіших розробок, як-от УСК-2000 (Українська система координат 2000), що враховують необхідні геодезичні референції та параметри [4].

Міське господарство вимагає узгодженості координат під час виконання землевпорядних робіт, кадастрових процедур, містобудівного проєктування, геоінформаційних досліджень та інженерних вишукувань. Якщо різні підрозділи чи підрядники користуються відмінними системами координат і проєкціями, виникає плутанина: шари векторних даних можуть розходитися на метри або навіть десятки метрів. Для будівельних і кадастрових цілей такий зсув є неприпустимим, оскільки може призвести до помилкового визначення меж земельних ділянок, неточного проєктування доріг і інженерних мереж, хибних розрахунків земних робіт тощо. Тому влада міста чи відповідні державні органи зазвичай встановлюють обов'язкові чи рекомендовані координатні системи для ведення проєктних робіт. В Україні, приміром, раніше діяла система СК-42 (і похідні від неї варіанти), потім застосовували СК-63, а у новішому часі впроваджено УСК-2000. УСК-2000 базується на загальнодержавній геодезичній системі, прив'язаній до міжнародних стандартів (WGS-84), тож це уможливорює точне суміщення даних із глобальними джерелами (наприклад, GPS). Координати в цій системі, однак, відрізняються від географічних широт і довгот: кожна точка має «плоскі» координати (X, Y) у метрах від певної лінії відліку, що спирається на поперечну циліндричну проєкцію [6, 9].

Щодо географічних систем координат, то вони, як уже згадано, базуються на широтах і довготах. Ці кути можна розглядати на різних моделях Землі, та фактично «стандартом де-факто» для глобальних застосунків (наприклад, для GPS, Galileo) є WGS-84. Якщо місто має власну геодезичну мережу, узгоджену з іншим датумом, то при прямому використанні GPS-координат без трансформації може траплятися систематичне зміщення. Питання це дуже актуальне для всіх, хто займається зборами геоданих «у полі»: наприклад, працівники комунальних служб, які з допомогою польових GPS-приймачів фіксують розміщення люків, стовпів, зливових каналізацій тощо. Якщо вони не

знають або не враховують різницю між WGS-84 та УСК-2000, згодом ці точки можуть «роз'їхатися» на декілька метрів при суміщенні з кадастровими даними [9].

Отже, правильний вибір і узгодження координатних систем є обов'язковою передумовою ефективного функціонування ГІС у міському господарстві. Більшість міських завдань вимагають плоских координат для зручності вимірювань і розрахунків, але ці координати мусять бути пов'язані з єдиною державною системою, яка, своєю чергою, спирається на визначений референц-еліпсоїд і датум.

ТЕМА 3 ГЕОДАНІ В МІСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

План

3.1 Джерела даних міської інфраструктури.

3.2 Створення та збір інформації для міської інфраструктури.

3.1 Джерела даних міської інфраструктури

Формування ефективної геоінформаційної системи міського господарства передбачає інтеграцію різноманітних джерел даних, які відображають структурні, функціональні та просторові характеристики міської інфраструктури. Сучасні тенденції урбанізації, цифровізації та динамічних змін у міському середовищі, повнота, точність і актуальність джерел стають важливими для забезпечення безперервного моніторингу, планування та управління об'єктами інфраструктури [1, 2].

Однією з основних особливостей джерел даних у сфері міського господарства є їх різноманітність – як за форматом, так і за способом отримання. Зокрема, дані можуть мати як растрову, так і векторну структуру, бути первинними або вторинно обробленими, надходити у реальному часі чи

оновлюватися періодично. Така гетерогенність зумовлює необхідність стандартизації процесів їх збирання, уніфікації метаданих та розробки ефективної системи інтеграції на платформі ГІС [3].

Інформаційне забезпечення системи міського управління включає численні тематичні шари, джерелами яких виступають державні кадастрові та реєстраційні системи, топографічні знімання, містобудівна документація, проєктні матеріали, а також сучасні засоби дистанційного зондування Землі. Значну роль відіграють дані інженерних служб – водоканалу, теплоенерго, електромереж, газового господарства – які володіють базами щодо технічного стану та розташування підземних і наземних комунікацій. Ці джерела становлять основу для створення інфраструктурного каркасу ГІС, що дозволяє відображати функціональну структуру міського середовища у просторі та часі [2, 4].

Істотним компонентом інформаційного наповнення є результати геодезичних та топографічних знімань, які забезпечують точне геопросторове позиціонування об'єктів інфраструктури. Такі дані отримуються за допомогою тахеометричних знімань, GNSS-технологій, лазерного сканування, мобільного картографування та фотограмметричних методів. Їх поєднання з архівними матеріалами дозволяє актуалізувати цифрові моделі міської території, враховуючи фізичний знос, реконструкції та нове будівництво [5, 6].

Особливу роль у сучасних умовах відіграють віддалені джерела даних, що базуються на супутникових знімках високої роздільної здатності, а також продуктах аерофотозйомки та знімання БПЛА. Вони дають змогу виявляти зміни міського середовища з високою періодичністю та мінімальними витратами. Крім того, за допомогою засобів дистанційного зондування можна отримати дані щодо зелених зон, щільності забудови, розподілу дорожнього покриття, зон підтоплення чи теплових аномалій, що надзвичайно актуально для стратегічного планування [3, 7].

Важливо також зазначити, що міська інфраструктура все більше переходить до моделі цифрових двійників, де джерелом даних виступають

сучасні засоби та обладнання, які фіксують в режимі реального часу параметри функціонування об'єктів: температуру, тиск, споживання ресурсів, інтенсивність руху тощо. Збір таких даних здійснюється автоматизовано, що суттєво підвищує їх оперативність, але водночас вимагає впровадження ефективних механізмів валідації та управління потоками інформації [4, 8].

Таким чином, джерела даних міської інфраструктури формують багаторівневу інформаційну систему, яка охоплює статичні та динамічні параметри міського простору. Їх інтеграція в єдине цифрове середовище на базі ГІС є завданням для підвищення ефективності управлінських рішень, забезпечення сталого розвитку міста та підвищення рівня сервісу для громадян [1, 6, 8].

3.2 Створення та збір інформації для міської інфраструктури

Процес створення та збору інформації для цілей геоінформаційного забезпечення міського господарства є важливим етапом формування ефективної системи управління просторовими ресурсами міста. Від якості, повноти та актуальності даних залежить точність аналітичних висновків, обґрунтованість управлінських рішень та ефективність планування розвитку міських територій. У цьому контексті збір інформації не обмежується лише фіксацією фізичних характеристик об'єктів, але включає також атрибутивні, правові, технічні та соціальні параметри, що забезпечують багатогранність опису міської інфраструктури [1, 2].

Створення баз геоданих міської інфраструктури зазвичай починається з проектування інформаційної моделі, яка передбачає визначення типів об'єктів (будівлі, дороги, мережі), їхньої просторової структури (точки, лінії, полігони), системи координат, метаданих і логічних зв'язків між елементами. Цей процес здійснюється із дотриманням міжнародних та національних стандартів, таких як ISO 19100 або ДСТУ-Н Б В.2.1-18:2016, що регламентують побудову геоінформаційних баз даних [3, 4].

Щодо безпосереднього збору даних, сучасна практика передбачає застосування широкого спектру методів і технологій. У першу чергу це геодезичні інструменти: електронні тахеометри, GNSS-приймачі, цифрові нівеліри, лазерні сканери. За їх допомогою виконується високоточне позиціонування об'єктів інфраструктури, створення топографічних планів, побудова 3D-моделей забудови та інженерних мереж. Тахеометричні знімання використовуються для формування опорної мережі, а GNSS-методи дозволяють швидко фіксувати координати об'єктів навіть у щільній забудові, за умови використання RTK-технологій або постпроцесингу [5].

Значну роль у створенні даних відіграють методи дистанційного зондування Землі. Супутникові знімки, аерофотознімання та безпілотні літальні апарати забезпечують ефективний моніторинг забудови, зелених зон, дорожньої інфраструктури, змін у використанні земель. Завдяки високій частоті оновлення та просторовій розрізненості сучасні супутникові платформи (Sentinel-2, WorldView, PlanetScope) стають невід'ємним джерелом оперативних геоданих [6, 7].

Окрім первинного збору, важливе місце посідає процес цифровізації архівної інформації. Багато технічної документації щодо інженерних мереж, транспортних схем, історичної забудови зберігається у вигляді паперових матеріалів, які підлягають скануванню, геоприв'язці та векторизації. Оцифрування дозволяє інтегрувати такі дані до ГІС і співставити їх із сучасним станом об'єктів. Також активно застосовується картометрія – метод зчитування координат і семантики з готових цифрових планів і схем [2, 8].

У новітніх підходах все більше уваги приділяється автоматизованим способам збору інформації. Мобільні додатки та вебсервіси дозволяють як працівникам муніципальних структур, так і пересічним громадянам повідомляти про зміни у міському середовищі, наприклад, про пошкодження доріг, незаконні забудови чи відсутність благоустрою. Такі інструменти активно інтегруються в систему «Smart City» та забезпечують швидке збагачення ГІС-даних у режимі реального часу [4, 9].

Однією з проблем при зборі інформації є забезпечення її точності, повноти та актуальності. Ці параметри визначаються якістю обладнання, а також методикою збирання, підготовленістю персоналу, наявністю еталонних баз та регулярністю оновлення даних. Отже, сучасні системи містять інформацію про самі об'єкти, а також історію змін, яка зберігається у вигляді журналів, логів та версій [3].

Таким чином, створення та збір інформації для ГІС міської інфраструктури є складним багатоетапним процесом, що поєднує традиційні геодезичні методи, дистанційні технології, цифровізацію архівів і новітні мобільні рішення. Ефективне управління цим процесом забезпечує якісну просторову основу для підтримки функціонування всіх ланок міського господарства — від інженерії до соціальної сфери [1, 5, 9].

ТЕМА 4 ІНТЕГРАЦІЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДАНИХ У МІСЬКУ ГІС

План

4.1 Вивчення форматів геоданих, шарів інформації міської ГІС.

4.2 Особливості перетворення даних.

4.1 Вивчення форматів геоданих, шарів інформації міської ГІС

Інтеграція різних типів даних у міську ГІС є визначальним кроком на шляху до створення комплексного «цифрового двійника» міста, який охоплює всі аспекти міського простору – від інфраструктури й транспортних систем до екологічного моніторингу й соціально-економічних процесів. Завдяки цьому управлінські підрозділи та фахівці з різних галузей мають змогу оперувати єдиною інформаційною базою, в якій дані про дороги, будівлі, інженерні мережі, демографію, природні ресурси чи історичні пам'ятки доступні в гармонізованому вигляді [6]. Однак сама ідея «інтеграції» доволі складна з

технічного й методологічного погляду, оскільки передбачає врахування безлічі форматів, структур, проєкцій, масштабів і джерел даних. У міському господарстві часто доводиться мати справу з різними форматами геоданих (векторними, растровими, 3D-моделями), тематичними шарами (транспорт, екологія, кадастр, містобудівне зонування) та процедурою перетворення одних форматів в інші. Ключові аспекти, які варто опанувати при побудові єдиної міської ГІС, зосереджуючись на вивченні форматів, шарів інформації та методах перетворення даних [8].

У розрізі форматів геоданих варто згадати, що векторний формат (Shapefile, GeoJSON, GML, KML тощо) й досі залишається найпоширенішим у плані зберігання об'єктів із чіткими геометричними межами. Звичний для ГІС-фахівців Shapefile складається з декількох файлів (.shp, .shx, .dbf, .prj), де .shp зберігає геометрію, .dbf – атрибутивну інформацію, а .prj – проєкцію. GeoJSON, навпаки, зберігає всю інформацію (і про геометрію, і про властивості) в одному файлі формату JSON. У деяких випадках у міському середовищі широко використовують KML, який добре підходить для відображення даних у середовищі Google Earth, або GML (Geography Markup Language), коли потрібно слідувати стандартам OGC (Open Geospatial Consortium) і зберігати складні структури чи ієрархії об'єктів. Водночас формат GeoPackage (на основі SQLite) поступово витісняє Shapefile у більш передових ГІС-проєктах, оскільки дає змогу зберігати кілька шарів та їхні стилі в одній базі. Для складних 3D-моделей, які потрібні в містобудуванні, все частіше застосовується CityGML – формат, що дозволяє не просто зберігати тривимірну геометрію, а й прив'язувати до неї семантичну інформацію на рівні окремих елементів фасаду, покрівлі, поверхів [9].

Растрові формати (GeoTIFF, JPEG 2000, IMG та інші) здебільшого використовуються для супутникових знімків, аерофотозйомки, цифрових моделей рельєфу. GeoTIFF вирізняється тим, що містить геореференцію прямо у своєму заголовку, тож ГІС-ПЗ одразу визначає координати та проєкцію знімка. JPEG 2000 дозволяє суттєво стискати дані, однак треба пам'ятати про можливі

втрата якості. Для зберігання комплексних 3D-моделей рельєфу чи будівель можуть застосовуватися формати LAS/LAZ (для даних LiDAR), BIM-формати (IFC) або згаданий CityGML. Інтегруватися з цими даними достатньо непросто, оскільки вони відрізняються структурою та логікою зберігання просторових і атрибутивних елементів [9].

При організації шарів інформації в міській ГІС важливу роль відіграє концепція «шаровості» (layering), яка передбачає поділ загальної бази просторових даних на логічно або тематично відокремлені комплекти об'єктів [9]. Наприклад, один шар може містити дорожню мережу, інший – будівлі, третій – зелені насадження, четвертий – адміністративні межі районів, п'ятий – гідрографію. Такий підхід дає змогу незалежно керувати відображенням різних типів географічної інформації: вмикати й вимикати шари, фільтрувати за атрибутами, застосовувати різне стилістичне оформлення. Коли йдеться про великі масштаби (1 : 1 000, 1 : 2 000), виникає потреба у створенні більш детальних шарів, наприклад, будівлі поділяють на окремі типи (житлові, промислові, громадські, історичні). У транспортному шарі, крім власне ліній вулиць, можуть бути окремі шари для світлофорів, знаків, зупинок, паркувальних зон, велосипедних смуг. Мережеві комунікації (водопроводи, теплотраси, кабелі електро- та зв'язку) часто організовують кожну в своєму шарі для зручнішого аналізу й проектування [11].

4.2 Особливості перетворення даних

Важливим моментом є те, що шари міської ГІС можуть зберігатися в різних форматах і навіть у різних системах керування базами даних [8]. В одному проєкті використовують Shapefile для будівель, у другому – GeoPackage для доріг, у третьому – PostGIS (розширення PostgreSQL) для кадастрової інформації, а в четвертому – растрову базу для аерофотознімків. Проте в підсумку все це варто узгодити в єдиній картографічній «сцені» чи одному вебпорталі, де користувач зможе вільно перемикатися між шарами. Така

можливість відображається через стандарти OGC: WMS (Web Map Service) для растрових відображень карт, WFS (Web Feature Service) для векторних даних, WCS (Web Coverage Service) для растрових покриттів [4]. Застосування цих сервісів полегшує інтеграцію між різними геопорталами та відомчими системами, коли не потрібно дублювати всі дані, а достатньо підключитися до відповідного вебсервісу.

Надзвичайно актуальною вважається проблема перетворення даних, адже місто може отримувати інформацію з історичних креслень, сканів, паперових планів, архівних документів, а також із сучасних джерел (GPS-вимірювань, супутникових знімків високої роздільної здатності, лазерного сканування тощо). По-перше, потрібно виконувати геоприв'язку – процес, за якого відомі контрольні точки з точними координатами прив'язують до зображення або плану. Внаслідок цього сканований документ набуває реальних координат, і його можна використовувати як растровий шар. По-друге, є питання оцифровки – «переведення» обрисів об'єктів (доріг, будівель, меж ділянок) у векторну форму. Поширена модель: маємо історичний генеральний план, за яким вручну або напівавтоматично креслять полігони будівель, лінії доріг, а потім зберігають це у форматі Shapefile чи GeoPackage [11].

Наступний рівень перетворення пов'язаний із координатами та проєкціями. Наприклад, старі дані можуть бути у СК-42, а нові – в УСК-2000 чи WGS-84. Інтеграція передбачає застосування інструментів reprojection (наприклад, команди ogr2ogr у GDAL або функціоналу ArcGIS, QGIS) з обов'язковим зазначенням вихідної й цільової проєкції (EPSG-кодів) і параметрів трансформації [11]. Якщо цього не зробити коректно, шари «роз'їдуться» на кілька метрів чи навіть десятків метрів, що є неприйнятним для технічних робіт. У випадку, коли потрібен високий рівень точності (сантиметровий чи дециметровий), може знадобитися додаткове калібрування на реперах, знаходження зсувів, обертів і масштабних коефіцієнтів. Такі процедури вимагають геодезичної підготовки.

Ще одне важливе завдання – узгодження класифікаторів і семантики [9]. Дані різних департаментів можуть по-різному називати один і той самий тип об'єктів: у транспортному відділі «дороги» поділяються на «швидкісні магістралі», «вулиці місцевого значення», «шляхи загального користування», а в кадастровому реєстрі ці ж об'єкти можуть мати зовсім іншу термінологію. Тому на етапі інтеграції варто налагодити єдині довідники типів об'єктів і їхніх атрибутів, щоб, приміром, «житловий будинок» у одній базі відповідав «residential building» у іншій, а не зливався з «громадською будівлею» чи «промисловою спорудою». Подібне узгодження часто називають «семантичним перетворенням». Якщо воно не виконане, шар будівель може бути завантажений у ГІС, але різні категорії не відрізнятимуться, і це ускладнить аналіз [11].

Зважаючи на широкий спектр завдань у міському господарстві, перетворення стосується не лише просторової компоненти, а й атрибутивної: дані про рік зведення будинку, його технічний стан чи кількість мешканців можуть зберігатися у вигляді текстових файлів, базових Excel-таблиць, у сторонніх реєстрах. Завдання інтеграції передбачає імпорт цих даних у ГІС із прив'язкою до вже наявного полігона будівлі: за унікальним ідентифікатором, адресою, кадастровим номером або координатами. Програмні платформи на кшталт QGIS, ArcGIS чи PostGIS пропонують інструменти для приєднання таблиць за ключовими полями (join, relate). Коли ж формат таблиць несистемний, можливо треба додатково застосовувати скрипти Python чи інші методи для очищення та переформатування атрибутів перед приєднанням [9].

Окремо варто звернути увагу на сучасні технології вебінтеграції й розподіленого зберігання даних, де принцип «не дублюй, а підключай» виходить на перший план. Для великих растрових масивів (наприклад, аерофото), які займають десятки гігабайт, доцільно розгорнути спеціальний сервер (GeoServer, MapServer), що надає доступ до них через WMS або WMTS. Тоді всі інші підсистеми міської ГІС (кадастрові, транспортні, екологічні, архітектурні) можуть запитувати ці растрові підкладки для відображення. Такий підхід спрощує оновлення й адміністрування: достатньо оновити базу на

одному сервері, і всі інші негайно отримують актуальні шари без потреби їх дублювати. Те саме стосується векторних даних: через WFS можна зробити шар доріг доступним для різних департаментів у режимі реального часу. Проте, якщо відділ проєктування використає ці дані і внесе зміни (додасть нову ділянку дороги), інтеграція має бути двосторонньою: або людина, що працює в ГІС, має права редагування через транзакційний WFS (WFS-T), або є якийсь інший механізм, який дозволяє централізовано зберігати зміни. Так реалізується концепція «єдиного вікна» доступу до просторової інформації.

ТЕМА 5 СТВОРЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ГЕОДАНИХ ДЛЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

План

5.1 Процеси проєктування бази геоданих.

5.2 Структурування інформації міського господарства.

5.1 Процеси проєктування бази геоданих

Однією з найважливіших особливостей бази геоданих для міського господарства є необхідність інтегрувати великі обсяги різномірної інформації. Сюди належать дані з адміністративно-територіального поділу, адресного реєстру, кадастру нерухомості, транспортної мережі, інженерних комунікацій та статистичної звітності. Згідно зі стандартною практикою, кожен тип даних розміщується у спеціалізованих шарах, проте всі вони мають бути узгоджені між собою за системою координат, форматом та атрибутивними полями. Це дає змогу виконувати комплексні просторові запити, коли, наприклад, потрібно визначити всі об'єкти, розташовані на певній відстані від магістральних газопроводів, або виявити території, де показники забруднення повітря перевищують встановлені норми (рис. 5.1).

На рисунку схематично зображено, як різні потоки інформації (адресний реєстр, кадастрові записи, статистика, інженерні мережі) “стікаються” в основу єдиної геоданих міста. Кожне джерело зберігається у власному шарі, проте кінцевий користувач має змогу проводити зведений аналіз усіх шарів одночасно.

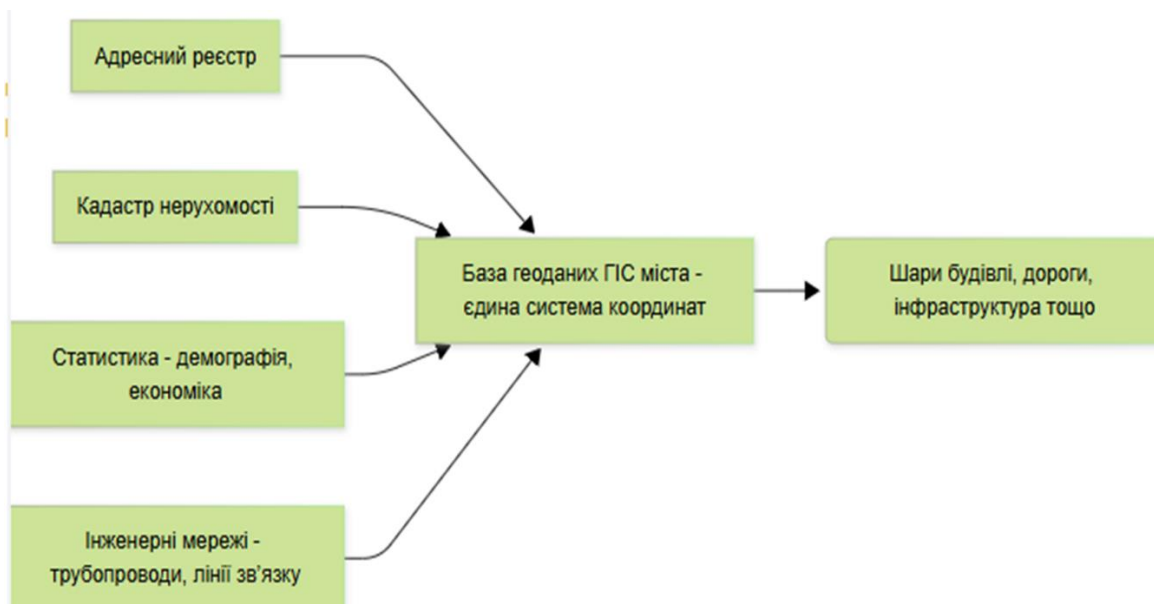


Рисунок 5.1 – Схематичне уявлення про різноманітні джерела даних, інтегровані в єдину базу геоданих міського господарства

У місті існує складна ієрархія територій, включно з адміністративними межами (наприклад, райони, мікрорайони), функціональними зонами (житлові, промислові, рекреаційні), комунальними об'єктами та інфраструктурою (дороги, парки, лінії електропередачі). Тому при проєктуванні бази геоданих важливо передбачити логічну модель, яка дозволить [12]:

1. Забезпечити вкладеність (наприклад, будівлі належать до кварталів, квартали до районів, райони до міста).
2. Зберегти тематичну диференціацію (кожен об'єкт має відповідну класифікацію, адже житлова забудова має інші характеристики, ніж промислові зони).
3. Підтримувати необхідні просторові відносини (сусідство, перетини, входження, «прилипання» меж).

Зазначене дає можливість для виконання запитів наприклад: «Знайти всі будівлі у межах історичного центру, які мають статус пам'ятки архітектури», або «Виявити промислові підприємства в зоні пішохідної досяжності до

житлових кварталів». Відповіді на такі питання суттєво підвищують ефективність управління територією та оцінки стану міського середовища [7].

Оскільки міське господарство передбачає роботу з прецизійними даними (точне розташування будівель, вузлів інженерних мереж тощо), постає потреба у використанні єдиної чи взаємно сумісних систем координат. Існує кілька стандартів, проте на муніципальному рівні часто застосовують державні чи регіональні системи (наприклад, УСК-2000 або інші локально узгоджені), які дають змогу мінімізувати похибку під час польових вимірювань чи кадастрових робіт [9].

Важливо забезпечити стандартизацію формату даних, зокрема при обміні з іншими відомствами. Для цього активно впроваджуються формати на кшталт GeoJSON, GML, GeoPackage, що відповідають вимогам Open Geospatial Consortium (OGC). Таким чином полегшується інтеграція даних і можливість багаторазового використання у різних підсистемах міського господарства [11].

У міському середовищі часто виникає необхідність виконувати складні топологічні перевірки: межі кварталів не повинні «накладатися» одна на одну, мережі інженерних комунікацій варто позначати таким чином, щоб розуміти точки їх перетину й розв'язки. Тому в процесі проектування бази геоданих дуже важливо задати топологічні правила:

- без розривів та накладень: контури суміжних ділянок збігаються за спільною межею;
- вузли та ребра: система повинна «знати», де саме відбувається з'єднання лінійних об'єктів (наприклад, дві вулиці чи кілька каналізаційних колекторів);
- коректна просторова орієнтація: якщо об'єкт є внутрішнім полігоном (озеро у межах парку), він має бути цілісним і вбудованим у більший полігон парку.

Порушення топологічної узгодженості призводить до помилок під час просторових розрахунків чи відтворення карти: наприклад, автоматичні

процедури можуть «не бачити» суміжні ділянки як сусідні, якщо між ними залишається мікроскопічна «щілина» через некоректне накреслення контуру.

База геоданих міського господарства має з самого початку розроблятися з урахуванням великих обсягів інформації та перспективи розширення. Міські території постійно змінюються: здійснюється нове будівництво, інженерні мережі модернізуються, демографічна ситуація не стоїть на місці. Тому важливо передбачити:

1. Оптимальну структуру індексації: просторові індекси, що полегшують пошук і фільтрацію об'єктів за координатами.
2. Механізми резервного копіювання: великі обсяги просторових даних вимагають надійних інструментів збереження та швидкого відновлення в разі збою.
3. Підтримку хмарних чи розподілених систем: у масштабі великого міста часто застосовують кластери баз даних, які дозволяють одночасно обробляти запити численних користувачів.

Успіх ГІС міського господарства значною мірою залежить від того, наскільки база геоданих може «спілкуватися» з іншими відомчими системами: бухгалтерськими, адміністративними, системами електронного уряду тощо. Це дає змогу автоматизувати низку процесів:

- оформлення дозвільних документів, коли інформація про будівництво, власників та планувальні обмеження надходить безпосередньо з ГІС;
- електронні черги та реєстри, що використовують дані про розташування об'єктів і зонування;
- системи екстреного реагування (наприклад, відображення на карті найближчих пожежних гідрантів та адреси надзвичайної події).

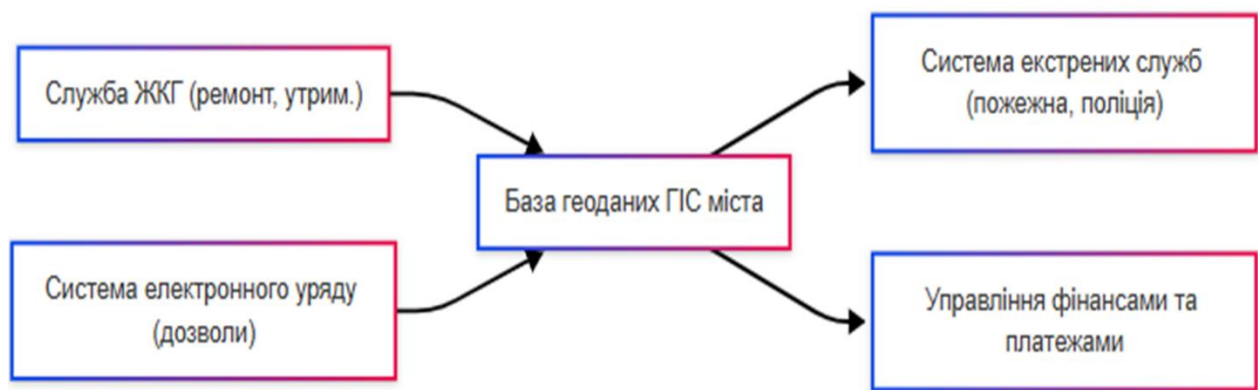


Рисунок 5.2 – Схема взаємодії бази геоданих ГІС із суміжними службами міського господарства

На рисунку показано, як база ГІС виступає центральним «вузлом», до якого під'єднуються різні міські сервіси. Кожен із них має свої потреби у просторових даних і, водночас, може збагачувати базу актуальною інформацією про зміни.

Таким чином, особливості проєктування бази геоданих міського господарства полягають у необхідності інтеграції різномірних джерел інформації, побудові ієрархічної структури міських об'єктів, гарантуванні топологічної узгодженості та масштабованості, забезпеченні безпеки та версійності. Правильно спроектована база геоданих стає потужним інструментом, що дає змогу оперативно отримувати повну картину стану міського середовища та сприяє ухваленню обґрунтованих рішень у галузі планування, управління і контролю. Саме ці особливості є основою для проєктних процесів та структуризації геоінформації.

5.2 Структурування інформації міського господарства

Формування чіткої системи зберігання та управління даними в межах геоінформаційної системи міського господарства передбачає низку дій,

спрямованих на логічне впорядкування, класифікацію та зв'язування між собою різних типів даних. Ідеться не тільки про правильно організовані шари (векторні або растрові), а й про те, як ці шари «співіснують» у єдиному середовищі, забезпечуючи багатофункціональну взаємодію. Цей розділ дає уявлення про підходи до структурування даних, що дають змогу підтримувати актуальність, зручність пошуку та гнучкий аналіз у ГІС міського господарства [14].

Одним із важливих елементів структурування геоданих є розподіл інформації за тематичними блоками (або «темами»), кожен з яких відображає певний аспект міського середовища [13]:

1. Адміністративно-територіальні межі: райони, квартали, мікрорайони.
2. Інженерна інфраструктура: водопостачання, водовідведення, електромережі, тепломережі.
3. Транспортні та дорожні мережі: магістралі, вулиці, перехрестя, маршрути громадського транспорту.
4. Об'єкти нерухомості: будівлі, споруди, земельні ділянки.
5. Природні та рекреаційні зони: парки, водойми, зелені насадження.
6. Соціально-економічна інформація: демографія, розподіл комерційних зон, установи освіти та медицини.

Кожна з цих тематичних груп може містити декілька шарів (наприклад, «Будівлі житлові», «Будівлі громадські», «Будівлі промислові»). Така структура полегшує доступ до потрібного набору об'єктів і прискорює виконання запитів, адже не потрібно щоразу переглядати всю базу, а можна відразу зосередитись на релевантному шарі [6].

У міському господарстві зустрічаються десятки, а то й сотні категорій об'єктів: від типів доріг та інженерних ліній до функціонального призначення земельних ділянок. Щоб уникнути плутанини, у ГІС використовують класифікатори (переліки допустимих значень) та довідники (з відомостями про коди та назви об'єктів).

Наприклад, для будівель [6]:

- код «Ж» – житлова;
- код «П» – промислова;
- код «Ад» – адміністративна.

Наявність таких довідників забезпечує узгодженість між різними модулями та дозволяє автоматизувати пошук: замість того, щоб кожен раз вводити «житлова будівля», можна використати фільтр «код = Ж». Це доволі важливо для великих проєктів, де одночасно працює багато співробітників і дані можуть надходити з різних джерел.

Для кожного шару (скажімо, «Будівлі») варто передбачити мінімальний набір атрибутів, без яких об'єкт не матиме сенсу в контексті міського господарства. Такий набір зазвичай включає:

- унікальний ідентифікатор (ID): щоби кожна будівля або ділянка мала свій код, незалежно від зміни назви або власника;
- тип об'єкта (згідно з довідником);
- адреса або прив'язка до адресного реєстру;
- площа/розміри (для полігонів);
- додаткові характеристики: поверховість, матеріал стін, рік побудови, наявність підключення до інженерних мереж тощо.

Важливо ретельно визначити, які з цих атрибутів будуть обов'язковими (тобто без яких запис не можна вносити до системи), а які – опціональними. Це допоможе зберегти баланс між достатністю інформації та швидкістю внесення змін.

Часто в рамках єдиної теми може існувати кілька рівнів деталізації. Наприклад, «Дороги» можна поділити на «Магістралі», «Внутрішньоквартальні проїзди» й «Велосипедні доріжки». Те саме стосується шарів «Будівлі»: багатоквартирні житлові будинки можуть утворювати окремий шар, а індивідуальна забудова – інший. Така ієрархія:

- полегшує доступ: не потрібно перемикати непотрібні шари;

– сприяє системності: різні відділи можуть працювати з одним макрошаром «Будівлі», але відфільтровувати в ньому лише потрібні підтипи.

Водночас важливо, щоб структура лишалася виваженою: надмірна фрагментація (десятки шарів під одним заголовком) може ускладнити підтримку та пошук потрібних даних [14].

У міському середовищі часто трапляються ситуації, коли один об'єкт пов'язаний із кількома іншими. Приміром, дорога може перетинати різні райони, а будівля може мати кілька призначень (житлова з комерційними приміщеннями на першому поверсі). Для цього іноді використовують:

– сутності-зв'язки (Entity-Relationship) з проміжними таблицями (наприклад, таблиця «Об'єкт_Призначення», де кожен запис вказує ID об'єкта і код призначення);

– вкладені полігони (наприклад, закрита територія, всередині якої можуть бути інші об'єкти).

Особливо зручно будувати й підтримувати ці зв'язки за допомогою реляційних чи об'єктно-реляційних СКБД (PostGIS, Oracle Spatial), що мають вбудовані інструменти для зберігання просторових даних із урахуванням таких відносин.

Для полегшення орієнтації в базі та забезпечення узгодженості даних варто домовитися про правила іменування шарів, таблиць і полів. Наприклад, кожен шар може мати префікс, що вказує на тематичну групу (RD_ – для доріг, BL_ – для будівель), а поля – чіткі назви без скорочень, які можуть бути неоднозначними. Окрім того, важливо вести метадані: описувати джерело походження даних, дату збирання, рівень точності й автора змін. Це допоможе швидко виявити, чи не застаріли певні шари, а також відстежити відповідального за внесення правок.

Останній, проте вкрай важливий аспект – це динамічна підтримка структури. Міське середовище постійно трансформується, з'являються нові категорії об'єктів (наприклад, станції зарядки електромобілів, нові велосипедні

магістралі) і змінюються попередні (знесення старих будівель, реконструкція інженерних мереж), тому [11]:

1. Регулярні інтервали перевірки: аудит шарів і атрибутів, щоби відстежувати, чи все ще актуальні створені раніше поля й чи не з'явилися дублікати.

2. Можливість додавання нових підтипів: якщо раніше не було окремого шару для електрозаправок, можливо, знадобиться його створити, не руйнуючи решту структури.

3. Механізми злиття й очищення: при отриманні даних із різних джерел виникає ризик розбіжностей (у координатах, ідентифікаторах), тож системі потрібні інструменти автоматизованої й напівавтоматизованої валідації.

Отже, структурування інформації для ГІС міського господарства – це процес, що виходить за межі простого «розкладання даних на шари». Важливо забезпечити логічну й тематичну впорядкованість, продумати зв'язки між таблицями й шарами, встановити чіткі правила іменування та вести метадані. Лише за умови зваженого підходу до структурування інформації можна підтримувати актуальну й несуперечливу базу, яка слугуватиме міським службам, керівництву й громадськості для ухвалення виважених рішень про розвиток міста.

ТЕМА 6 МЕТАДАНІ ТА ЇХНЯ РОЛЬ В УПРАВЛІННІ ГЕОДАНИМИ

План

6.1 Етапи створення, управління метаданими міського середовища.

6.2 Зберігання метаданих міського середовища.

6.1 Етапи створення, управління метаданими міського середовища

Створення наборів метаданих для геоінформаційних систем міського господарства є складним, багатоетапним процесом, що вимагає системного підходу та суворого дотримання встановлених стандартів. Від якості реалізації кожного етапу залежить ефективність майбутнього використання, пошуку, обміну, інтеграції й актуалізації геопросторових даних [11].

Етап 1. Аналіз потреб та визначення вимог до метаданих. Першим і найважливішим етапом є визначення конкретних вимог до метаданих на основі ретельного аналізу потреб користувачів та специфіки задач міського господарства. На цьому етапі виконують наступні роботи [14]:

- визначення основних зацікавлених сторін (органи влади, комунальні служби, архітектори, інженери, містобудівники, громадськість);
- збір вимог щодо типів інформації, які мають бути описані метаданими: технічні параметри (формати, системи координат, точність), організаційні умови доступу (рівні доступу, авторські права), вимоги щодо актуальності та періодичності оновлення;
- встановлення нормативних вимог та стандартів (наприклад, ISO 19115, INSPIRE, державні стандарти України), відповідно до яких формуються метадані [14].

Таким чином, етап аналізу забезпечує фундамент для всього процесу створення метаданих, надаючи розуміння, які саме параметри необхідні, і які стандарти варто застосовувати.

Етап 2. Розробка концептуальної моделі метаданих [14]. На цьому етапі формують узагальнену схему набору метаданих, яка містить базові категорії й атрибути. Концептуальна модель дозволяє впорядкувати інформацію у зручній та зрозумілій формі, передбачивши всі важливі аспекти:

- структуризація метаданих за категоріями (описові, технічні, адміністративні, якісні, інформація про походження);
- формування набору атрибутів для кожної категорії (наприклад, назва шару, масштаб, точність, джерело, умови використання);
- узгодження моделі з міжнародними стандартами, що забезпечить сумісність та інтегрованість метаданих.

Концептуальна модель (рис. 6.1) стає базисом для подальшої реалізації та гарантує єдині підходи до створення метаданих усіма учасниками процесу.

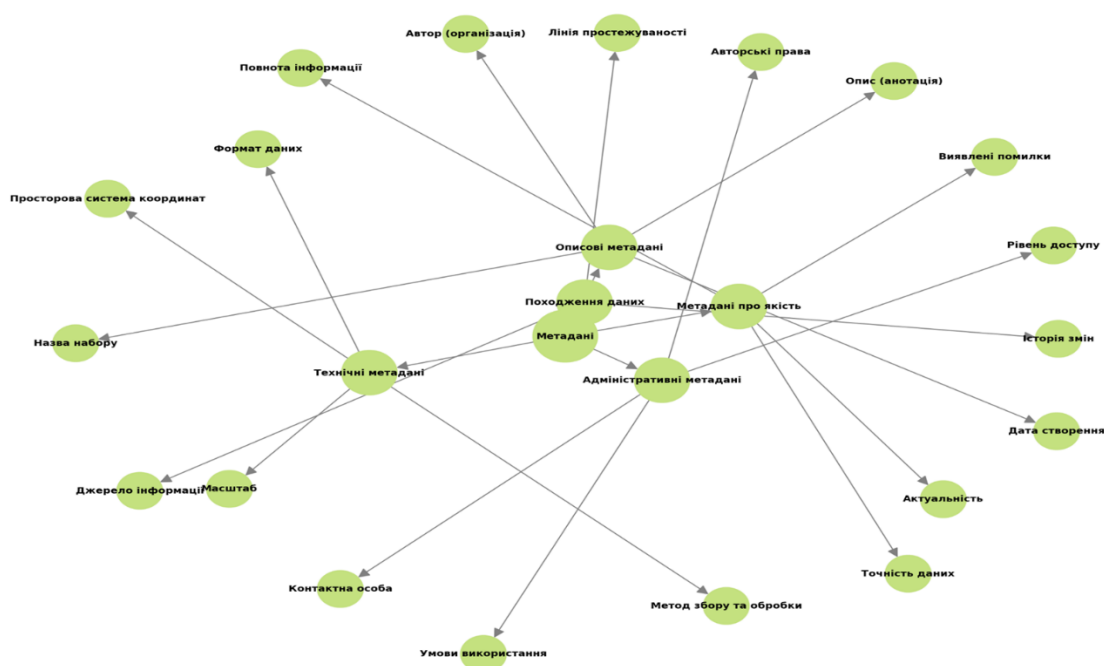


Рисунок 6.1 – Концептуальна модель набору метаданих ГІС міського господарства

Етап 3. Збір первинної інформації та опис наборів даних. Після формування концептуальної моделі починається безпосередньо процес збору інформації для метаданих.

Цей етап передбачає такі роботи:

- збір та перевірка первинних даних про існуючі набори (шари) у системі ГІС;
- інтерв'ювання відповідальних осіб та розробників даних щодо особливостей створення кожного шару (методи, точність, походження);
- заповнення форм метаданих відповідно до обраної моделі для кожного окремого набору.

На цьому етапі важливо забезпечити точність та повноту інформації, оскільки від цього залежить якість подальшого використання наборів геоданих.

Етап 4. Стандартизація і формалізація метаданих. Після збору первинних даних метадані потребують стандартизації та формалізації:

- конвертація зібраної інформації у стандартні формати (XML, JSON, ISO 19139);
- використання спеціалізованих програмних продуктів (наприклад, GeoNetwork, ArcCatalog), що дозволяють структуровано зберігати метадані;
- перевірка відповідності метаданих чинним стандартам і коригування можливих невідповідностей.

Формалізація забезпечує можливість інтеграції метаданих у глобальні каталоги та національні геоінформаційні інфраструктури.

Етап 5. Інтеграція метаданих у каталоги та геопортали. Метадані після формалізації інтегруються в спеціалізовані каталоги (каталоги метаданих), що дозволяє зручно здійснювати пошук і доступ до даних:

- створення єдиного каталогу міських геоданих, доступного для користувачів та служб міста;
- публікація метаданих на геопорталах, де вони стають доступними широкому колу користувачів (громадськість, комунальні служби, міська адміністрація);
- забезпечення інтерактивних механізмів пошуку (за ключовими словами, за територією, за типами наборів).

Етап 6. Перевірка, тестування та контроль якості метаданих. Цей етап включає оцінку якості та повноти створених метаданих:

- перевірка на повноту заповнення обов’язкових полів;
- тестування пошукових запитів для перевірки можливості знаходити інформацію за метаданими;
- проведення періодичних аудитів метаданих на предмет актуальності та достовірності.

Завдяки регулярному контролю забезпечується високий рівень довіри до наборів геоданих.

Етап 7. Організація регулярного оновлення та підтримка метаданих. Останній етап передбачає створення механізмів регулярного оновлення:

- встановлення чітких правил оновлення метаданих при змінах геоданих;
- визначення відповідальних осіб за підтримку актуальності інформації;
- запровадження системи автоматичних нагадувань та повідомлень про необхідність оновлення даних.

Таким чином, створення наборів метаданих міського господарства є циклічним і системним процесом, який забезпечує ефективність управління геоданими, підтримує актуальність, якість та доступність просторових наборів даних, необхідних для ефективного функціонування міського середовища.

6.2 Зберігання метаданих міського середовища

Управління та зберігання метаданих у геоінформаційній системі міського господарства являє собою складний процес, що включає цілу низку заходів, методів та організаційних процедур, спрямованих на забезпечення ефективного використання, доступності, безпеки та актуальності інформації про геопросторові набори даних. В умовах постійних змін міського середовища, збільшення обсягів даних та інтенсивного обміну інформацією між різними службами та структурами, саме якісне управління метаданими стає

вирішальним фактором успішного функціонування всієї ГІС-системи міського господарства [14].

До числа основних завдань управління метаданими належать [14]:

- підтримка цілісності та узгодженості інформації. Забезпечення єдиних стандартів опису наборів даних, контроль за правильністю, точністю та повнотою заповнення метаданих з метою уникнення протиріч і дублювання інформації;

- оперативне оновлення та актуалізація. Регулярне оновлення інформації в метаданих у відповідь на зміни в самих геоданих (наприклад, зміна масштабів, оновлення кадастрових меж, реконструкція інженерних мереж тощо);

- забезпечення доступності та прозорості інформації. Створення і підтримка систем пошуку метаданих, публікація інформації на геопорталах і каталогах, доступних різним категоріям користувачів (влада, комунальні служби, громадськість);

- організація інформаційної безпеки та доступу. Встановлення чітких правил щодо доступу до метаданих, контроль за дотриманням прав авторства і правил використання, що захищає дані від несанкціонованого використання чи втрати конфіденційності.

Для зберігання метаданих застосовують різноманітні спеціалізовані технічні рішення, що відповідають сучасним вимогам масштабованості, доступності та продуктивності. Найчастіше використовують такі підходи [12]:

- реляційні бази даних (Relational Database Management Systems, RDBMS). Наприклад, PostgreSQL з розширенням PostGIS, Oracle Spatial, MS SQL Server Spatial. Вони дозволяють ефективно зберігати й керувати великими масивами метаданих з використанням індексації та складних запитів;

- документні бази даних та сховища. Такі системи, як MongoDB або Elasticsearch, зручні для зберігання метаданих у форматах JSON або XML, забезпечують швидкий пошук за ключовими словами та підтримують масштабування системи;

– каталоги метаданих (метадані-каталоги, GeoNetwork, ArcGIS Server). Це спеціалізовані програмні продукти, які крім зберігання метаданих забезпечують потужні функції пошуку, доступу, управління доступом, а також інтеграцію з іншими системами ГІС.

З метою підвищення ефективності процесів управління метаданими використовуються спеціалізовані інструменти [9]:

– дозволяють автоматично відслідковувати зміни в даних та генерувати відповідні оновлення метаданих (наприклад, автоматичне оновлення дати останньої зміни або параметрів набору після внесення нових даних);

– вебсервіси та програмні модулі, що дозволяють користувачам самостійно переглядати, додавати та редагувати інформацію в метаданих, що значно спрощує підтримку їх актуальності;

– системи, що регулярно перевіряють якість і актуальність метаданих, сигналізуючи відповідальним особам про необхідність оновлення або виправлення помилок.

Управління доступом до метаданих в міському господарстві є важливою складовою інформаційної безпеки. Тут виділяють такі рівні доступу [11]:

– загальнодоступні набори метаданих, які можуть використовуватись широким колом користувачів, наприклад, метадані про генеральний план міста чи про мережу громадського транспорту;

– метадані, призначені для використання всередині міських служб, що включають інформацію про інженерні комунікації, проекти реконструкції чи детальні плани територій, доступ до яких обмежується;

– метадані, які містять чутливу або стратегічно важливу інформацію (розташування критичної інфраструктури, аварійні плани), доступ до яких регулюється особливо жорстко.

Окремим важливим аспектом управління є забезпечення збереженості метаданих. Враховуючи важливість інформації, необхідно застосовувати такі методи [11]:

- створення щоденних, щотижневих або щомісячних резервних копій метаданих з можливістю швидкого відновлення;
- використання сервісів типу AWS, Azure або приватних хмарних рішень, що забезпечує зручний доступ та безпечне зберігання інформації з високою надійністю;
- збереження історичних версій метаданих у спеціалізованих архівах для подальшого аналізу або аудиту.

Окрім технічних аспектів, важливу роль відіграє організаційна структура управління метаданими [9]:

- визначення конкретних фахівців або відділів, відповідальних за підтримку актуальності та якості метаданих;
- чітке визначення процедур створення, оновлення, контролю якості та доступу до метаданих;
- регулярне проведення тренінгів і навчальних семінарів для персоналу, який працює з метаданими.

Сучасні тенденції управління метаданими в міському середовищі передбачають такі перспективні напрями [4]:

- використання інтелектуальних алгоритмів для автоматичної генерації, перевірки і оновлення метаданих;
- посилення взаємодії систем метаданих міського господарства з відкритими порталами даних, що дозволяє збільшити прозорість і відкритість;
- впровадження інтерактивних інтерфейсів, що дозволяють працювати з метаданими у реальному часі, інтегруючи їх з міськими сервісами та мобільними застосунками.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ТЕМА 7 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

План

7.1 Особливості моделювання різних типів об'єктів у міському середовищі.

7.2 Моделювання міських будівель, доріг, інфраструктури.

7.1 Особливості моделювання різних типів об'єктів у міському середовищі

Просторове моделювання передбачає створення віртуальних моделей об'єктів, які відображають їх положення, геометричну форму, атрибутивні характеристики та зв'язки з іншими об'єктами. У ГІС міського господарства це можуть бути будівлі, дороги, тротуари, інженерні мережі, зелені насадження, громадські об'єкти тощо [14].

Цілі моделювання просторових об'єктів у міському господарстві охоплюють [9]:

- візуалізацію існуючої ситуації в місті;
- підтримку ухвалення рішень у сфері планування та управління територіями;
- забезпечення ефективного використання міської інфраструктури;
- оптимізацію проєктування нових об'єктів;
- аналіз взаємозв'язків між об'єктами та явищами у міському просторі;
- прогнозування змін, що відбуваються у міському середовищі.

У геоінформаційному моделюванні міського середовища використовують різні рівні деталізації моделей об'єктів, залежно від завдань та масштабів аналізу (рис. 7.1).

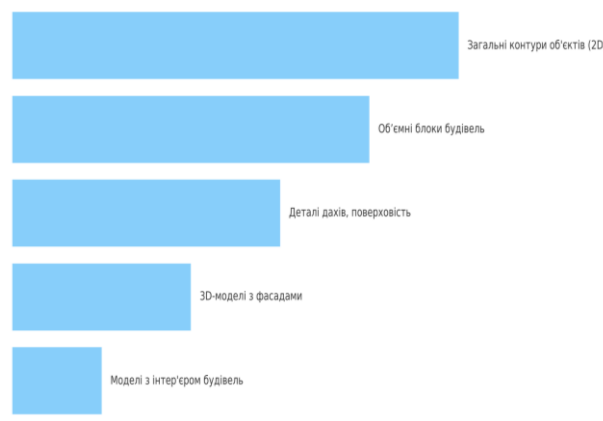


Рисунок 7.1 – Рівні деталізації просторових моделей об'єктів

Моделювання об'єктів міського господарства має враховувати ряд специфічних особливостей [7]:

- висока густота забудови: складність моделювання обумовлена щільним розташуванням об'єктів, необхідністю точної геометричної фіксації меж та співвідношень;
- різноманітність типів об'єктів: будівлі, дороги, зелені зони, мережі тощо мають різну природу, геометрію, атрибутивну структуру, що вимагає гнучких моделей;
- динамічність змін: у міському середовищі постійно відбуваються зміни – будівництво, реконструкція, розширення мереж – що вимагає регулярного оновлення моделей;
- необхідність взаємопов'язаного аналізу: наприклад, проєкт реконструкції дороги неможливий без врахування розташування підземних мереж, зон охорони пам'яток, обмежень забудови.

У ГІС використовуються дві основні парадигми просторового представлення об'єктів – векторна та растрова (рис. 7.2). Для моделювання

об'єктів міського господарства найчастіше застосовується векторна модель, оскільки вона дозволяє точно описати форму об'єкта, його координати, площу, периметр та пов'язані атрибути.

Характеристика	Векторна модель	Растрова модель
Геометрія	Точки, лінії, полігони	Пікселі (сітка)
Тип представлення	Об'єкти з координатами	Матричне зображення
Точність	Висока	Середня/низька
Застосування	Кадастр, планування, інфраструктура	Знімки, ортофотоплани, рельєф
Аналіз	Топологічний, атрибутивний, мережевий	Класифікація, фільтрація, виявлення змін

Рисунок 7.2 – Порівняння векторного та растрового моделювання

Для забезпечення логіки просторового аналізу між об'єктами міського середовища надзвичайно важливо враховувати топологічні відносини — тобто просторові взаємозв'язки між об'єктами [11]:

- суміжність: два полігони (наприклад, сусідні ділянки) мають спільну межу;
- перетин: об'єкти накладаються один на одного (наприклад, траса інженерної мережі перетинає контур забудови);
- входження: один об'єкт повністю знаходиться всередині іншого (парк у межах мікрорайону).

7.2 Моделювання міських будівель, доріг, інфраструктури

Моделювання нерухомості у геоінформаційних системах міського господарства є надзвичайно важливим напрямом просторового аналізу. Нерухомість у міському середовищі – це не лише будівлі як фізичні об'єкти, а й сукупність правових, технічних, функціональних і соціально-економічних характеристик, які описують її цінність, функціональність і вплив на навколишнє середовище. Моделювання нерухомості має на меті створення просторово-атрибутивної моделі, яка дозволяє аналізувати її стан, розвиток,

ринкову активність та взаємозв'язки з іншими об'єктами інфраструктури міста [14].

Цифрова модель нерухомості в ГІС поєднує два основні компоненти [7]:

- просторовий – геометрія об'єкта (контур, розташування, площа, висота, поверховість), що представлена у вигляді полігону або 3D-моделі;
- атрибутивний – інформація про будівлю: адреса, функціональне призначення, рік побудови, технічний стан, власник, кадастровий номер, юридичний статус.

```
Об'єкт: Будівля №1208
├─ Геометрія:
│   ├── Тип: полігон
│   ├── Координати: [(x1,y1), (x2,y2), ...]
│   ├── Висота: 21.4 м
│   └── Поверховість: 6
├─ Атрибути:
│   ├── Адреса: вул. Центральна, 15
│   ├── Функція: житлова
│   ├── Стан: задовільний
│   ├── Рік побудови: 1982
│   ├── Кадастровий номер: 6310136600:01:123:4567
│   └── Власник: КП "Житлосервіс"
```

Структура моделі об'єкта нерухомості у ГІС

Рисунок 7.3 – Структура моделі об'єкта нерухомості у ГІС

Для побудови повноцінної моделі нерухомості необхідно використовувати різні джерела геопросторової та правової інформації [11]:

1. Державний земельний кадастр (ДЗК): надає геометрію земельних ділянок під об'єктами.
2. Державний реєстр речових прав на нерухоме майно: включає дані про власників, форми власності, обтяження.
3. Технічна інвентаризація БТІ: містить інформацію про конструктивні елементи, площі, поверховість, рік побудови.
4. Ортофотоплани та 3D-моделі: використовуються для верифікації геометрії та поверховості об'єктів.

5. Архітектурні паспорти: можуть бути джерелом функціонального призначення та дозволів на будівництво.

Окремим напрямом є моделювання правових меж об'єктів — контурів кадастрових ділянок, меж багатоквартирних будинків, зон сервітутів, обтяжень тощо. Ці межі накладаються на моделі будівель і дозволяють [11]:

- аналізувати правовий статус об'єкта;
- визначати відповідального за утримання об'єкта;
- перевіряти наявність порушень меж забудови;
- формувати аналітику по територіальних громадах.

Для кожного об'єкта нерухомості доцільно зберігати такі поля атрибутів [15]: ID (унікальний ідентифікатор); адреса; кадастровий номер; функціональне призначення; рік побудови; поверховість; матеріал стін; стан будівлі; дата останньої реконструкції; тип власності; джерело інформації (рис. 7.4).

ID	Адреса	Признач.	Пов.	Стан	Рік побуд.	Власник
1023	вул. Шевч.	житлова	5	добрий	1976	громада
2045	вул. Ломо.	адмін.	3	середній	1991	облрада
3020	пр. Миру	торгова	2	добрий	2015	приватна

Рисунок 7.4 – Приклад таблиці атрибутів для моделей нерухомості

Моделювання доріг і міської інфраструктури є одним із найважливіших напрямів використання геоінформаційних систем в управлінні міським господарством. Його сутність полягає у створенні цифрових моделей, які точно відображають просторове розташування, геометричні характеристики та функціональні зв'язки між об'єктами міського середовища. Такі моделі є основою для аналізу, прогнозування та ухвалення рішень щодо реконструкції, розвитку чи обслуговування об'єктів інфраструктури [1, 2].

У геоінформаційному середовищі процес моделювання починається з побудови базової просторової структури. Для дорожньої мережі це, насамперед,

топологічна модель, що враховує вузли перетину, напрямки руху, ширину проїжджої частини, тип покриття, регулювання перехресть, обмеження швидкості та смуги руху. Такі моделі дозволяють здійснювати просторову навігацію, оптимізацію транспортних потоків, імітацію навантажень на дорожню інфраструктуру та планування ремонтних робіт [3, 4].

Моделювання доріг також передбачає обробку висотних даних, які отримують з цифрових моделей рельєфу та цифрових моделей поверхні, що дає змогу враховувати ухили, радіуси кривизни, перепади висот і проблемні ділянки у зонах з підвищеною ерозією або ризиком підтоплення. Сучасні технології лазерного сканування та фотограмметрії з БПЛА дозволяють формувати високоточні моделі дорожнього полотна з сантиметровою точністю, що суттєво підвищує ефективність проєктування та експлуатаційної оцінки [5, 6].

Для моделювання міської інфраструктури загалом використовується принцип багат шарової архітектури. Кожен шар у ГІС-структурі представляє окрему інфраструктурну систему: енергозабезпечення, водопостачання, водовідведення, газопостачання, зв'язок, освітлення тощо. Взаємне розташування і технічна взаємодія між цими шарами дозволяє не лише візуалізувати поточний стан систем, а й виявити потенційні конфлікти, наприклад, при перетині підземних комунікацій або при забудові нових мікрорайонів [1, 7].

Інтеграція 3D-моделювання стала новим етапом у розвитку ГІС міського господарства. Тривимірні моделі забезпечують більш реалістичне представлення будівель, споруд, вулиць, інженерних мереж, дозволяють моделювати затінення, вітрове навантаження, акустику, а також оцінювати візуальний вплив забудови на міське середовище. При розробці таких моделей використовуються дані лазерного сканування, фотограмметричні реконструкції, ВІМ-компоненти, а також дані мобільного картографування [5, 8].

Прогностичні функції моделювання передбачають використання сценаріїв розвитку інфраструктури. Наприклад, при моделюванні вулично-дорожньої мережі можна симулювати різні варіанти транспортного навантаження у години

під, аварійні ситуації, вплив нових забудов на транспортну доступність або часові затримки. Подібні симуляції реалізуються на базі модулів просторової логістики в середовищах типу ArcGIS Network Analyst, TransCAD, CityEngine, QGIS із плагінами дорожнього моделювання [3, 9].

Особливої уваги заслуговує впровадження концепції цифрового двійника, яка передбачає створення інтерактивної моделі міста з повним набором актуальних інфраструктурних даних, можливістю відстеження змін у режимі реального часу та взаємодії з іншими інформаційними системами (екологічний моніторинг, комунальні служби, транспортні оператори тощо). Такі підходи дають змогу аналізувати поточний стан інфраструктури та ефективно управляти життєвим циклом її об'єктів – від проєктування до демонтажу [4, 8].

Таким чином, моделювання об'єктів нерухомості, доріг і міської інфраструктури у середовищі ГІС є складним багаторівневим процесом, який забезпечує просторово обґрунтоване планування, ефективне управління ресурсами, мінімізацію ризиків і підвищення якості міського середовища. Надійність таких моделей залежить від повноти вхідних даних, точності геоприв'язки, частоти оновлення та ступеня взаємозв'язку з іншими інформаційними платформами [1, 2, 9].

ТЕМА 8 ЦИФРОВІ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ТА ПОВЕРХНІ ДЛЯ МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ

План

8.1 Методи створення цифрових моделей рельєфу та поверхонь.

8.2 Особливості використання цифрових моделей рельєфу в міському плануванні.

8.1 Методи створення цифрових моделей рельєфу та поверхонь

Цифрові моделі рельєфу і цифрові моделі поверхонь є базовими геопросторовими компонентами, що широко застосовуються у проектуванні, плануванні та управлінні міським середовищем. Їх використання в геоінформаційних системах міського господарства забезпечує точне відображення конфігурації земної поверхні, дозволяє враховувати її морфологічні особливості при аналізі інженерної інфраструктури, гідрологічних умов, транспортного моделювання та екологічного оцінювання територій [1, 2].

Цифрова модель рельєфу відображає висотні характеристики місцевості у вигляді регулярної або нерегулярної сукупності точок із просторовими координатами, що репрезентують абсолютну або відносну висоту. У свою чергу, цифрова модель поверхні включає як сам рельєф, так і об'єкти, розташовані на ньому – будівлі, дерева, технічні споруди, що дозволяє моделювати поверхню в її реальному вигляді [3].

Методи створення ЦМР та ЦМП поділяються на традиційні, напівавтоматизовані та автоматизовані, з урахуванням джерел даних, рівня точності, обсягу вхідної інформації та очікуваного призначення моделі. Одним з класичних методів є топографічна інтерполяція за ізогіпсами або горизонталями, яка здійснюється шляхом векторизації паперових карт або обробки сканованих зображень. За допомогою інструментів ГІС (наприклад,

ArcGIS, QGIS) дані горизонталей перетворюються у точкову сітку, на основі якої генеруються растрові моделі висот [4, 5].

Іншим поширеним методом є інтерполяція за точками висот – це процедура побудови безперервної моделі висот на основі вибіркового набору опорних точок, отриманих польовими або дистанційними методами. Найчастіше застосовуються інтерполяційні алгоритми, такі як Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging, Natural Neighbor, а також метод Тінгованих трикутників (TIN), який забезпечує високу точність у складному рельєфі за рахунок адаптивної структури трикутників [6].

У сучасних умовах пріоритет набувають методи лазерного сканування, що дозволяють формувати детальні ЦМР з просторовою розрізненістю до кількох сантиметрів. Повітряне сканування використовується для широкомасштабного покриття міських територій, а наземне – для детальної зйомки окремих об'єктів і технічних систем. Результатом лазерного сканування є хмара точок, яка після фільтрації та класифікації перетворюється у цифрову модель рельєфу (без об'єктів) або модель поверхні (з урахуванням надземної інфраструктури) [7].

Важливим напрямом є також використання фотограмметричних методів. Створення цифрових моделей виконується шляхом обробки стереопар – аерофото або БПЛА-знімків, які за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору дозволяють автоматично обчислювати висоти на основі паралаксів. Цей підхід є особливо ефективним при створенні моделей у важкодоступних або забудованих територіях, де традиційні методи є обмеженими [8].

Окрему роль відіграє інтеграція даних супутникового дистанційного зондування. Продукти таких місій, як SRTM, ASTER GDEM, ALOS, Copernicus DEM, дозволяють отримати базові ЦМР із розрізненістю від 1 до 30 метрів, придатні для регіонального аналізу, зонування, гідрологічного моделювання або оцінки ерозійної небезпеки. У випадках, коли необхідна вища точність, ці моделі доповнюються або замінюються даними з БПЛА чи LIDAR [4, 9].

Вибір методу побудови моделі залежить від призначення. Наприклад, для побудови цифрових моделей дренажних систем або визначення водозбірних

басейнів достатньо використання IDW або Kriging. Водночас для BIM-проектування, розрахунку обсягів земляних мас чи аналізу інсоляції необхідна деталізація, яку можуть забезпечити лише методи лазерного сканування чи фотограмметрії [5, 7].

Таким чином, створення цифрових моделей рельєфу та поверхонь є багаторівневим процесом, що поєднує класичні геодезичні принципи з новітніми технологіями обробки просторових даних. Головна перевага ГІС-підходу полягає у можливості гнучкої інтеграції даних з різних джерел, їх візуалізації, аналітичного опрацювання і подальшої інтерактивної експлуатації в різних сферах міського господарства – від транспортної інфраструктури до управління ризиками та захисту довкілля [1, 2, 6].

8.2 Особливості використання цифрових моделей рельєфу в міському плануванні

Цифрові моделі рельєфу є фундаментальним інструментом у практиці міського планування, оскільки забезпечують точне і детальне відображення висотної структури території, що є базовим чинником для ухвалення обґрунтованих рішень щодо забудови, проектування транспортної інфраструктури, інженерних мереж, зонування та управління ризиками. Рельєф як морфологічна основа міського середовища суттєво впливає на просторову організацію міста, формування типів забудови, систем водовідведення, транспортну доступність та санітарно-гігієнічні умови [1, 2].

У процесі планування міської території ЦМР використовуються для розрахунку ключових морфометричних показників – ухилів, експозицій, абсолютних та відносних висот, які впливають на вибір архітектурно-будівельних рішень, зонування територій та оптимізацію витрат на будівництво. Наприклад, території з надмірними ухилами можуть бути визнані непридатними для щільної житлової забудови, однак використовуються під

парки, лісопарки або об'єкти рекреації, тоді як рівнинні ділянки – під багатоповерхове будівництво, транспортні вузли або промислові об'єкти [3,4].

Важливу роль цифрові моделі відіграють у гідротехнічному плануванні, що включає аналіз напрямків стоку, локальних понижень, водозбірних басейнів, зон підтоплення. Ці задачі розв'язуються за допомогою гідрологічного аналізу ЦМР у середовищах ArcGIS, QGIS, GRASS GIS та інших. Модель рельєфу дозволяє визначати ділянки з ризиком нагромадження поверхневих вод, формувати трасування дренажних каналів, проєктувати системи штучного водовідведення у нових мікрорайонах [5, 6].

У сфері транспортного планування ЦМР дозволяє моделювати оптимальні траси магістралей, з урахуванням ухилів, що впливають на витрати пального, безпеку руху та потребу у будівництві інженерних споруд (естакад, мостів, тунелів). При розробці велосипедної інфраструктури або маршрутів громадського транспорту дані рельєфу дають змогу адаптувати мережу до фізичних можливостей користувачів і уникнути надмірного навантаження в підйомах [3, 7].

Екологічне та містобудівне зонування також потребує врахування рельєфу. Похилі ділянки, розташовані вздовж схилів, часто є джерелом ерозійних процесів, вітрової акумуляції, можуть бути вразливими до зсувів. Завдяки ЦМР визначаються буферні зони навколо таких небезпечних ділянок. Вони також використовуються для імітації шумового розповсюдження, розрахунку інсоляції та вітрового тиску на забудову, а отже – стають складовою при моделюванні комфортного мікроклімату у житлових районах [2, 5].

Візуалізаційна функція ЦМР виявляється особливо корисною при 3D-моделюванні міського середовища, формуванні віртуальних турів, макетуванні майбутньої забудови. Рельєфна основа використовується як фундамент при побудові цифрових двійників міста, що дозволяє поєднувати архітектурні моделі з реальним ландшафтом, забезпечуючи точну геопросторову інтеграцію [8].

Особливої актуальності набуває використання ЦМР у сценарному моделюванні розвитку територій. За допомогою аналізу рельєфу можливо прогнозувати зміни, які можуть відбутися у разі реалізації альтернативних містобудівних концепцій, зокрема при реконструкції промислових зон, забудові територій колишніх кар'єрів або адаптації прибережних зон. Такі моделі використовуються для оцінки впливу на навколишнє середовище, розрахунку обсягів земляних робіт, обґрунтування економічної доцільності проєктів [4, 6].

Використання ЦМР у міському плануванні супроводжується також певними технічними та організаційними викликами. Одним із них є потреба в постійному оновленні моделей з урахуванням техногенних змін: нових забудов, змін у ландшафті внаслідок інженерних втручань, землерийних робіт тощо. Іншою проблемою є інтеграція моделей різної точності та масштабу, отриманих з різних джерел: лазерного сканування, фотограмметрії, супутникових продуктів. Вирішення цих задач вимагає ретельної стандартизації структури геоданих та використання хмарних платформ для їх зберігання та обміну [7, 9].

Отже, цифрові моделі рельєфу виступають як базовий елемент картографічного забезпечення та стратегічний інструмент геоінформаційного супроводу міського планування. Їх широке використання дозволяє трансформувати процеси містобудівного аналізу від суто графічного до комплексного цифрового підходу, що підвищує точність розрахунків, ефективність управління та сталий розвиток міських територій [1, 3, 9].

ТЕМА 9 МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ ТА КОМУНІКАЦІЙ

План

9.1 Аналіз транспортної доступності.

9.2 Оптимізація міських маршрутів.

9.1 Аналіз транспортної доступності

Аналіз транспортної доступності дозволяє оцінити, наскільки ефективно громадяни і вантажі можуть переміщатися по міських територіях, з урахуванням наявної транспортної інфраструктури. Цей процес має значення для міського планування, розвитку інфраструктури та покращення життєвих умов населення [7]. Завдяки інтеграції ГІС-технологій можна оцінити поточний стан доступності та моделювати майбутні сценарії розвитку транспортної мережі, що дозволяє визначити оптимальні маршрути, зменшити транспортні затори та покращити доступність до важливих соціальних об'єктів [9].

Транспортна доступність визначається як можливість досягнення певного місця за допомогою транспорту в межах певного часу чи вартості. Вона включає два основні аспекти: фізичну та соціальну доступність [14].

Фізична доступність характеризує можливість переміщення між об'єктами за допомогою наявної транспортної інфраструктури. Вона визначається відстанню між об'єктами, швидкістю руху транспорту, а також наявністю або відсутністю необхідних з'єднань у транспортній мережі. Соціальна доступність стосується доступності певних об'єктів (наприклад, медичних, освітніх установ, підприємств) для різних соціальних груп (пенсіонери, люди з інвалідністю, учні). Вона враховує відстань та можливість доступу через різноманітні транспортні засоби, пільгові маршрути, доступність громадського транспорту тощо [9]. Враховуючи ці фактори, можна оцінити

рівень транспортної доступності на різних рівнях – від окремих житлових кварталів до всього міста (рис. 9.1).

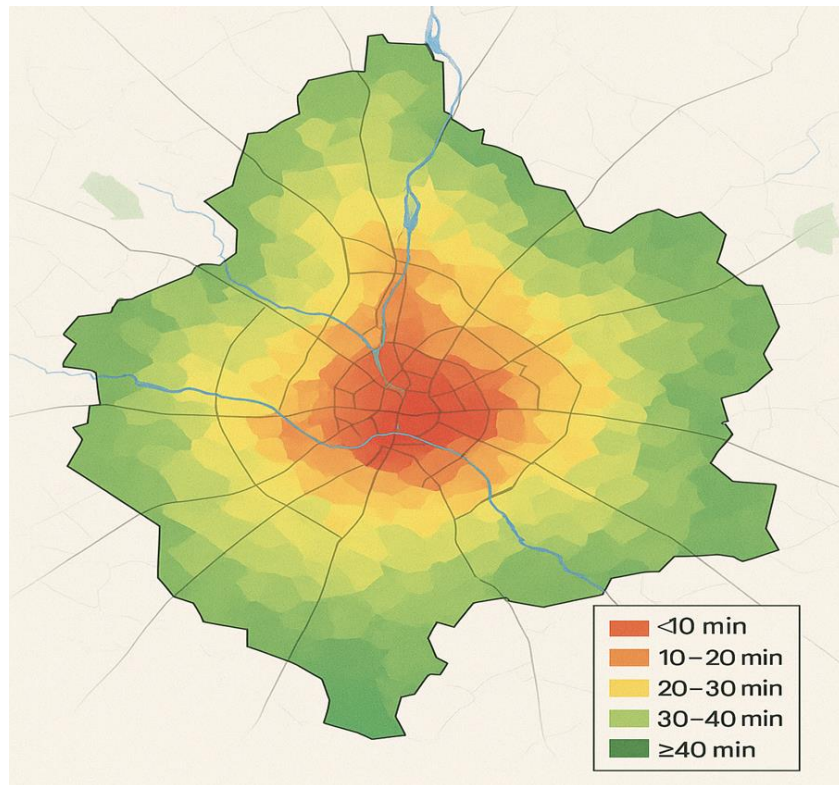


Рисунок 9.1 – Схема транспортної доступності в населеному пункті

На схемі представлені кольорові зони, що позначають рівень доступності до важливих об'єктів, з врахуванням часу в дорозі.

Для аналізу транспортної доступності в ГІС використовуються різноманітні методи, серед яких найбільш поширеними є:

1. Метод буферизації дозволяє створити зону доступності навколо певних об'єктів (зупинок, станцій, підприємств) і оцінити відстань від них до інших важливих точок міста. За допомогою буферних зон можна побудувати карти доступності для пішоходів, велосипедистів та водіїв. Це дає змогу визначити, які райони міста залишаються ізольованими від основних маршрутів.

2. Метод мережевого аналізу використовується для моделювання транспортних потоків у мережі. Він дозволяє обчислити найкоротші маршрути,

враховуючи дорожні умови, швидкість руху, типи доріг і поточні обмеження (ремонти, затори). Мережевий аналіз допомагає оцінити час доступності між різними точками міста, визначити найбільш ефективні маршрути для громадського та приватного транспорту.

3. Аналіз доступності до основних соціальних та інфраструктурних об'єктів передбачає вивчення відстані або часу доступності до лікарень, шкіл, університетів, магазинів та інших важливих інфраструктурних об'єктів. Це дозволяє визначити, чи є певні райони з низьким рівнем доступності до важливих об'єктів міського середовища.

4. Метод багатокритеріального аналізу розглядає кілька факторів, які впливають на транспортну доступність, таких як відстань, час, вартість поїздки, інтервал руху, наявність зупинок тощо. Завдяки використанню методів багатокритеріального аналізу можна оцінити всі можливі варіанти розвитку транспортної мережі та вибрати найбільш ефективний.

На рівень транспортної доступності в місті впливає ціла низка факторів, серед яких можна виокремити:

- інфраструктуру. Якість доріг, наявність мостів, тунелів, паркінгів та зупинок громадського транспорту безпосередньо визначає рівень доступності різних частин міста;

- транспортні засоби. Вибір типу транспорту, його кількість і доступність відіграють важливу роль у забезпеченні ефективної доступності. Важливо враховувати як громадський, так і індивідуальний транспорт;

- трафік. Щільність руху, наявність заторів, аварійних ситуацій або ремонтних робіт можуть значно погіршити транспортну доступність;

- екологічні фактори. У деяких містах екологічні обмеження (заборона на рух важких транспортних засобів у центральній частині міста, наприклад) можуть суттєво вплинути на доступність;

- сезонність та погодні умови. У зимовий час або в умовах сильних дощів чи снігопадів дорожні умови можуть погіршуватися, що знижує рівень доступності.

Для оцінки рівня доступності використовуються різні індекси, серед яких:

Індекс транспортної доступності, який обчислюється на основі часу досягнення важливих об'єктів міста. Цей індекс дозволяє побудувати зведену характеристику доступності на основі кількох різних маршрутів та транспортних засобів (рис. 9.2).

Часовий індекс доступності – цей метод дозволяє обчислити час, який витрачається на досягнення конкретних об'єктів, і порівняти цей час для різних транспортних засобів та різних ділянок міста.

Індекс доступності до основних соціальних об'єктів				
Район	Лікарня	Школа	Торгові центри	Станції метро
Район А	85	90	75	80
Район В	60	70	80	95
Район С	70	75	65	75
Район D	95	80	70	85

Рисунок 9.2 – Індекс доступності до основних соціальних об'єктів
(для кожного району міста – доступність до лікарні, школи, торгових центрів, станцій метро)

Аналіз транспортної доступності є важливим для ефективного міського планування. Він допомагає:

– виявити райони з низьким рівнем доступності до соціальних та інфраструктурних об'єктів, що може призвести до соціальної ізоляції;

- оптимізувати розташування нових об'єктів та інфраструктурних елементів;
- покращити організацію дорожнього руху та громадського транспорту, зменшивши затори та покращивши мобільність міського населення;
- прогнозувати потреби в розширенні або реконструкції транспортних мереж на основі змін у демографічній ситуації, розвитку нових житлових та комерційних зон.

9.2 Оптимізація міських маршрутів

Оптимізація маршрутів включає в себе визначення найбільш ефективних шляхів для транспорту, що дозволяє зменшити час в дорозі, знизити витрати на паливо та технічне обслуговування, а також покращити якість послуг. Це завдання вимагає комплексного підходу, оскільки на ефективність маршрутів впливають численні фактори: конфігурація міської транспортної мережі, інтенсивність руху, наявність альтернативних маршрутів, стан доріг, а також екологічні та економічні аспекти.

Основними цілями оптимізації є:

- зменшення часу подорожі для користувачів транспорту;
- покращення пропускної здатності транспортної мережі, зокрема у пікові години;
- зниження експлуатаційних витрат для транспортних компаній, зокрема витрат на паливо та технічне обслуговування транспорту;
- покращення доступності для населення, зокрема для маломобільних груп (пенсіонерів, інвалідів, дітей);
- зменшення навантаження на основні транспортні артерії міста;
- зниження впливу на навколишнє середовище через зменшення викидів CO₂.

Існує кілька підходів до оптимізації міських маршрутів:

1. Метод найкоротшого шляху застосовується для визначення найкоротших маршрутів між двома точками на карті, враховуючи різні варіанти дорожніх шляхів і обмеження. Для цього використовуються алгоритми, такі як алгоритм Дейкстри або алгоритм A^* , які дозволяють знаходити найефективніший маршрут з мінімумом витраченого часу або ресурсів.

2. Метод максимізації потоку використовує техніки теорії графів для оптимізації пропускної здатності маршрутів. Це особливо важливо для оцінки ефективності вантажних перевезень або міських маршрутів громадського транспорту в умовах обмежених ресурсів (шляхів, транспорту). Рішення можуть включати зміну напрямків руху або перерозподіл потоку транспорту.

3. Метод багатокритеріальної оптимізації враховує кілька критеріїв одночасно, таких як час у дорозі, вартість пального, рівень забруднення, комфорт для пасажирів тощо. Застосування методу дозволяє знаходити компроміс між різними вимогами та оптимізувати маршрути для різних категорій транспорту.

4. Метод моніторингу і адаптивної оптимізації. У цей метод інтегрується використання реальних даних про трафік, що надходять із сенсорів, GPS-пристроїв та камери спостереження. На основі цих даних система може адаптувати маршрути в режимі реального часу, мінімізуючи затори та покращуючи ефективність перевезень.

5. Моделювання з використанням ГІС. Для реалізації оптимізації маршрутів у ГІС використовуються інструменти просторового аналізу, які дозволяють враховувати різноманітні фактори: стан доріг, густоту забудови, час у дорозі, доступність транспорту для різних верств населення. Зокрема, використовується алгоритм для пошуку найкоротших та найбільш ефективних маршрутів, з урахуванням багатьох параметрів.

Для оцінки ефективності оптимізації маршрутів використовуються кілька показників:

1. Час у дорозі. Один із найважливіших показників для громадського транспорту та вантажних перевезень. Визначення оптимальних маршрутів дозволяє зменшити час на поїздки та знизити затори.

2. Економічні витрати. Для транспортних компаній важливо оптимізувати не лише маршрути, але й витрати на паливе, обслуговування транспортних засобів, а також витрати на роботу водіїв. Зменшення витрат без втрати якості обслуговування є основним завданням.

3. Екологічний вплив. Оптимізація маршрутів сприяє зниженню викидів CO₂, особливо при виборі ефективних та коротших шляхів для транспорту.

4. Пропускна здатність транспортних мереж. Оптимізація дозволяє зменшити навантаження на основні транспортні артерії міста, що знижує рівень заторів і підвищує швидкість руху.

5. Задоволеність користувачів. Оптимізація маршрутів має позитивний вплив на комфорт пасажирів, зокрема завдяки скороченню часу на поїздки та поліпшенню обслуговування.

Тому, оптимізація міських маршрутів є важливим інструментом для покращення ефективності транспортування в міському середовищі. Вона дозволяє знизити час подорожі, зменшити навантаження на основні транспортні артерії, покращити доступність для різних верств населення і зменшити екологічний вплив. Використання ГІС-технологій дозволяє надавати точні та обґрунтовані рекомендації щодо покращення транспортних маршрутів з урахуванням реальних даних і вимог міської інфраструктури.

ТЕМА 10 МОДЕЛЮВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

План

10.1 Моделювання мереж водопостачання.

10.2 Моделювання мереж електропостачання.

10.3 Моделювання мереж тепlopостачання.

10.1 Моделювання мереж водопостачання

Мережа водопостачання в міському середовищі є складною системою інженерної інфраструктури, яка забезпечує безперервне транспортування питної, технічної або пожежної води до споживачів. Її функціональність залежить від великої кількості параметрів – починаючи від розгалуженості магістральних трубопроводів, закінчуючи режимами тиску, гідравлічними втратами та аварійними ділянками. ГІС-моделювання водопровідної мережі дозволяє створювати цифрові просторові моделі, які поєднують геометрію, фізико-технічні характеристики та сценарії навантаження в єдиній структурі [11].

Інженерна мережа водопостачання складається з таких компонентів [15]:

- водозабірні споруди – джерела надходження води (артезіанські свердловини, річкові водозабори, резервуари);
- насосні станції – забезпечують тиск і подачу води;
- магістральні та розподільчі трубопроводи – формують скелет і периферію мережі;
- регулювальні арматури – засувки, клапани, редуктори тиску;
- гідранти та вузли обліку – для пожежогасіння та контролю витрат;
- кінцеві споживачі – житлові, промислові, громадські об'єкти.

Геоінформаційне моделювання передбачає подання мережі у вигляді орієнтованого графа з вузлами (джерела, з'єднання, споживачі) та ребрами

(трубопроводи), що мають довжину, діаметр, матеріал, швидкість потоку, гідравлічний опір тощо (рис. 10.1).

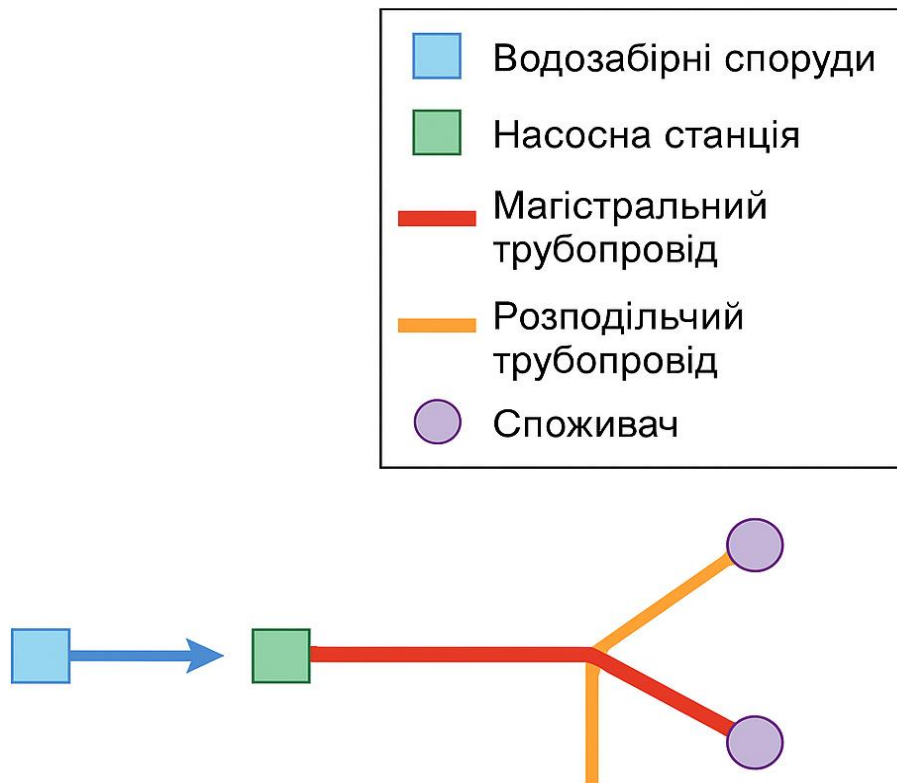


Рисунок 10.1 – Узагальнена схема водопровідної мережі у ГІС-середовищі

На схемі вузлами зображені насосні станції, споживачі; ребрами - трубопроводи різного діаметру з позначенням напрямку потоку.

Методика побудови просторової моделі водопровідної мережі передбачає декілька кроків [15].

Крок 1: Систематизація вихідних даних. Джерела даних включають:

- топографічні карти масштабу 1 : 500–1 : 2 000;
- виконавчі схеми комунальних служб;
- лазерне сканування колодязів;
- GPS-виміри вузлів мереж;
- дані SCADA-систем про тиск і витрати;
- супутникові знімки високої роздільної здатності.

Крок 2: Формалізація та векторизація. За допомогою інструментів QGIS, ArcGIS або gvSIG виконується:

- створення топологічно замкненої мережі (без «висячих» вузлів);
- прив'язка до координатної системи (СК-63, WGS84 або місцева);
- створення атрибутивної таблиці для кожного елементу;
- кодування класу труб (сталь, поліетилен, чавун).

Крок 3: Гідравлічне моделювання. На цьому етапі використовується програмне забезпечення:

- EPANET – для розрахунку напору, швидкості, втрат тиску, якості води;
- WaterCAD або WaterGEMS – для створення сценаріїв роботи під навантаженням.

Для візуалізації моделі у середовищі вебперегляду використовується:

- GeoServer, MapServer або ArcGIS Online;
- відкриті карти (OpenStreetMap, Bing, Leaflet);
- картографічні стилі: залежно від діаметру, матеріалу, тиску.

10.2 Моделювання мереж електропостачання

Електричні мережі, як невід'ємна складова техногенної основи міста, мають складну просторову й функціональну структуру, що вимагає точного просторового опису, топологічної організації, аналітичної перевірки та динамічного оновлення. Застосування геоінформаційних систем у цьому контексті дозволяє створити цифрову модель енергосистеми міста, яка включає мережеві елементи, точки споживання, джерела живлення та маршрути передачі електроенергії [1, 2].

У середовищі ГІС моделювання електромереж реалізується через побудову топологічно орієнтованих векторних моделей, які відображають структуру ліній електропередачі, трансформаторних підстанцій, розподільчих пунктів, вузлів комутації та точок підключення споживачів. Кожен об'єкт у моделі описується не лише геометрично, але й семантично – через набір

атрибутів: напруга, навантаження, тип мережі (повітряна або кабельна), рік введення в експлуатацію, стан обладнання тощо [3, 4].

Особливістю електричних мереж є їх розгалужена, ієрархічна структура, де кожен рівень (високовольтний, середній, низький) виконує окрему функцію – передавання, трансформації або розподілу. Відповідно, моделювання повинно враховувати ці рівні, а також логіку підключень, що дозволяє виявляти критичні вузли, визначати рівні завантаженості ліній, резервні траси живлення і потенційні «вузькі місця» в мережі. ГІС-системи типу ArcGIS Utility Network, QGIS з плагінами GRASS або gvSIG Electric Network забезпечують реалізацію таких складних топологій із можливістю симуляції [2, 5].

Для створення цифрових моделей електропостачання широко використовуються дані кадастрів інженерних мереж, а також матеріали з GPS-знімання, тахеометричних обстежень і цифрової фотограмметрії. Зокрема, наземне лазерне сканування та аерозйомка з БПЛА дозволяють отримати актуальну просторову інформацію про розташування повітряних ЛЕП, їхню висоту, кут нахилу опор, потенційні перетини з іншими комунікаціями або природними перешкодами (дерева, будівлі) [6].

Цифрова модель мережі в ГІС дозволяє здійснювати тематичний аналіз – виявлення зон з підвищеним навантаженням, планування ремонтних робіт, розрахунок втрат, симуляцію відключень або аварій, оптимізацію схеми резервного живлення. Наприклад, в умовах аварійного знеструмлення або перевантаження мережі система може автоматично побудувати альтернативні траси подачі енергії, з урахуванням технічних параметрів і просторових обмежень [4, 7].

Окремий напрямок моделювання стосується інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – сонячних панелей, вітрових установок, біоенергетичних модулів. Такі об'єкти також включаються до ГІС-моделі як активні джерела, з врахуванням періодичності генерації, потужності, умов підключення до загальної мережі. Це дає змогу моделювати баланс енергії, визначати

можливості децентралізації живлення, вплив ВДЕ на напругу в різних сегментах мережі [5, 8].

Моделювання електропостачання у міському господарстві також включає просторовий аналіз ризиків: ідентифікацію зон, де проходження ЛЕП є потенційно небезпечним (наприклад, поблизу житлової забудови, резервуарів, парків), планування охоронних зон, аналіз відповідності розташування ліній до норм містобудівного та електротехнічного законодавства. Це дозволяє оптимізувати маршрути прокладання нових мереж з урахуванням екологічних і соціальних факторів [6, 9].

У підсумку, моделювання електромереж у ГІС є комплексною аналітичною процедурою, що поєднує просторову візуалізацію, атрибутивне управління, топологічний аналіз і прогнозування роботи енергосистеми. Такий підхід дозволяє не лише ефективно управляти існуючими ресурсами, а й забезпечує стратегічне планування енергозабезпечення на рівні міста, району чи навіть окремого кварталу [1, 3, 8].

10.3 Моделювання мереж тепlopостачання

Теплопостачальні системи належать до критичної інфраструктури, функціонування якої має прямий вплив на комфорт, безпеку й енергоефективність міського середовища. Геоінформаційні технології дозволяють створити цифрові моделі теплових мереж, що відображають не лише фізичну конфігурацію трубопроводів і обладнання, а й гідравлічні, термічні та експлуатаційні параметри об'єктів системи [1, 2].

У середовищі ГІС моделювання тепломереж базується на побудові векторно-топологічної моделі, яка включає вузли (теплогенерувальні установки, ЦТП, вузли споживання) та лінійні об'єкти (трубопроводи подачі та зворотного контуру). Кожному об'єкту призначаються атрибути — тип трубопроводу, матеріал, діаметр, довжина, глибина прокладання, ступінь зношеності, ізоляція, дата останнього ремонту тощо. Створення такої моделі дозволяє виконувати

просторово-орієнтований аналіз, оптимізацію мережі, моніторинг стану обладнання, прогнозування втрат і моделювання аварійних ситуацій [3, 4].

Особливістю теплових мереж є необхідність гідравлічного та термічного моделювання, що вимагає інтеграції ГІС з інженерними розрахунковими платформами — наприклад, таких як Bentley OpenFlows, Termis, або спеціалізованих модулів для ArcGIS. Ці програмні засоби дозволяють моделювати температуру подачі, втрати тепла по мережі, тиск у різних точках, напрямки руху теплоносія, час циркуляції, баланс навантажень у пікові та середньодобові періоди [2, 5].

Моделювання теплопостачання в ГІС тісно пов'язане з просторовим аналізом щільності забудови, типології будівель та зон функціонального призначення територій. Це пояснюється тим, що теплові навантаження прямо залежать від характеристик об'єктів споживання: площі опалюваних приміщень, рівня енергоефективності, режиму роботи, кількості споживачів тощо. ГІС дає змогу накладати інфраструктурну модель на кадастрову або будівельну карту міста й автоматично обчислювати теплові потреби районів або окремих об'єктів [6].

Окрему увагу варто приділити аналізу втрат теплової енергії, які виникають через зношеність мереж, недостатню теплоізоляцію, гідравлічні дисбаланси або аварії. У цифровій моделі ГІС ці втрати можуть бути визначені на основі типових значень для різних трубопроводів, або ж розраховані інженерно-аналітичними засобами з врахуванням реальної довжини, матеріалу і температурного режиму. Це дозволяє виявити найбільш критичні ділянки мережі, пріоритезувати ремонти, оцінити потенціал для реконструкції та термомодернізації [4, 7].

Сучасні тенденції також включають моделювання інтелектуальних систем теплопостачання, де до моделі підключаються дані з цифрових датчиків, лічильників, SCADA-систем, що дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі. Такі цифрові двійники систем теплопостачання вже впроваджуються у пілотних проєктах «розумних міст», зокрема у скандинавських країнах та

країнах Балтії, де спостерігається високий рівень децентралізації теплогенерації та активне використання альтернативної енергії [6, 8].

ГІС-моделі також використовуються для оцінки варіантів децентралізації системи теплопостачання. Зокрема, аналізуються сценарії переходу до квартальних котелень, мікроТЕЦ або використання теплових насосів. Просторове моделювання дозволяє порівнювати альтернативи за показниками вартості, ефективності, екологічності та соціального впливу, при цьому враховуючи розміщення джерел енергії, резервних мереж і зон забудови [2, 5].

Таким чином, моделювання мереж теплопостачання в геоінформаційному середовищі виконує не лише функцію цифрової інвентаризації, але й виступає потужним аналітичним і планувальним інструментом. Воно дозволяє реалізувати принципи енергетичної ефективності, мінімізації втрат, прозорості ухвалення рішень та адаптивного управління критичною інфраструктурою міста [1, 3, 9].

ТЕМА 11 ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

План

11.1 Методи спостереження міського середовища.

11.2 Аналіз змін у міському просторі.

11.1 Методи спостереження міського середовища

Спостереження за міським середовищем становить фундаментальну складову процесу управління урбанізованими територіями, оскільки забезпечує виявлення, аналіз і прогнозування просторових та функціональних змін, які відбуваються у межах міської структури. Методи спостереження покликані забезпечити науково обґрунтовану базу для ухвалення рішень у сфері містобудування, інженерної інфраструктури, охорони навколишнього середовища, соціального розвитку та сталого планування. У сучасних умовах геоінформаційні системи (ГІС) виступають інтегруючою платформою, що поєднує різноманітні джерела даних і методи спостереження, формуючи єдине цифрове середовище аналізу [1, 2].

Основа просторового спостереження складають дистанційні методи, які включають використання супутникової зйомки, аерофотознімання, безпілотної аерофотозйомки, лазерного сканування, гіперспектрального та теплового зондування. Такі технології дозволяють здійснювати періодичну зйомку великих територій, що забезпечує оперативне оновлення інформації про міські об'єкти та процеси. Наприклад, за допомогою супутникових знімків Sentinel-2, PlanetScope, WorldView або Landsat можна оцінити щільність забудови, стан зелених зон, урбанізаційні зміни, теплові аномалії, водні об'єкти та інші параметри, які мають просторову прив'язку [3, 4].

Важливу роль у спостереженні відіграють інструментальні методи на основі геодезичних і інженерних вимірювань, зокрема GNSS-моніторинг, тахеометричні спостереження, фотограмметрія ближньої дії, цифрове картографування та лазерне сканування з землі. Ці методи забезпечують високу точність даних про фізичні зміни в міському середовищі – переміщення будівель, деформації споруд, осідання ґрунтів, зміну рельєфу. Наприклад, моніторинг зсувонебезпечних ділянок або інфраструктурних об'єктів (мостів, естакад, колекторів) виконується за допомогою цифрових інклінометрів та 3D-сканування з подальшою обробкою в ГІС [5, 6].

Інтеграція ГІС з системами датчиків дозволяє формувати динамічне спостереження у режимі реального часу. Це, зокрема, стосується моніторингу якості повітря, шумового забруднення, рівня освітленості, температури, вологості, концентрації шкідливих речовин тощо. Сучасні міста активно впроваджують розумні сенсорні системи, які автоматично передають інформацію до централізованих ГІС-платформ для її візуалізації, аналізу та оприлюднення. Таким чином, формуються так звані «цифрові тіні» міста – аналітичні моделі, що в реальному часі відображають його стан [2, 7].

Методи спостереження також охоплюють соціальні та адміністративні джерела, серед яких – реєстри міської інфраструктури, містобудівний кадастр, земельний кадастр, облікові бази комунальних служб, дані переписів населення, статистичні щорічники, результати соціологічних опитувань. Такі джерела мають, як правило, табличну форму представлення, однак у ГІС вони інтегруються з просторовими об'єктами, дозволяючи створювати тематичні шари за типом: демографічна структура, енергоспоживання, використання земель, злочинність, мобільність населення тощо [3, 8].

Використання мобільних даних становить новий етап в розвитку методів спостереження. Сюди належать геолокаційні дані з мобільних пристроїв, геомітки з фото- та відеоконтенту, інформація з публічних порталів про стан дорожньої інфраструктури, стихійні звалища, освітлення, ситуації із загрозами безпеці. Такі дані зазвичай надходять у напівструктурованому вигляді, але

завдяки алгоритмам обробки великих даних і візуалізації в ГІС, вони можуть бути оперативно трансформовані в аналітичну інформацію з просторовою інтерпретацією [7, 9].

Таким чином, сучасні методи спостереження міського середовища є багаторівневими, комплексними і тісно пов'язаними з можливостями ГІС-платформ. Їх ефективне застосування передбачає використання окремих інструментів спостереження та інтеграцію даних, стандартизацію форматів, автоматизацію потоків та візуалізацію результатів для ухвалення рішень на різних рівнях управління [1, 5, 9].

11.2 Аналіз змін у міському просторі

Аналіз змін у міському просторі дозволяє виявляти динаміку розвитку територій, оцінювати ефекти реалізованих містобудівних рішень, виявляти критичні зони трансформацій, а також прогнозувати майбутні зміни просторової структури. У поєднанні з геоінформаційними системами цей напрям розкриває повний потенціал просторово-часового моделювання міського середовища [1, 12].

Аналіз змін у межах ГІС здійснюється за допомогою порівняння тематичних та базових шарів, отриманих у різні часові моменти. Джерелами таких даних можуть бути матеріали супутникового моніторингу, аерофотозйомки, інвентаризацій, топографічних знімків, а також статистичні бази та кадастрові реєстри. Завдяки цьому можливо здійснити оцінку змін у структурі забудови, функціональному зонуванні, покритті території, зелених зонах, транспортних мережах, демографічній щільності та соціальній інфраструктурі [13, 14].

Основним методом просторового аналізу змін є зональна порівняльна оцінка, коли території поділяються на логічні одиниці – мікрорайони, квартали, функціональні зони – і для кожної з них розраховується зміна за певними показниками у часі. Це може бути зміна кількості будівель, площі зелених

насаджень, інтенсивності руху транспорту або рівня заселеності. Такі оцінки дозволяють виявити тенденції ущільнення, деградації або трансформації міського ландшафту [15].

Окреме місце займає спектральний аналіз змін за даними дистанційного зондування Землі. Застосування індексів на зразок NDVI (індекс вегетації), NDBI (індекс забудови), NDWI (індекс води) дозволяє автоматизовано виявляти зміни у покритті території. Наприклад, зниження NDVI протягом 5 років на ділянці може свідчити про скорочення зелених насаджень або зміну типу землекористування на користь забудови. Цей підхід особливо ефективний для великих урбанізованих агломерацій [16, 17].

ГІС-аналітика дозволяє не лише фіксувати факт змін, а й аналізувати їх просторові закономірності. За допомогою функцій щільності, теплових карт, кластеризації або просторової автокореляції (наприклад, індекс Морена), можна встановити зони найбільшої інтенсивності змін, їхню асиметрію, зв'язок з іншими показниками – соціально-економічними, демографічними, транспортними. Це особливо актуально при плануванні зон реновації, реабілітації або ревіталізації [12, 14].

У рамках сценарного аналізу змін використовуються функції прогнозування на основі трендів. Застосування методів машинного навчання (класифікаторів, дерев рішень, нейронних мереж), з використанням історичних ГІС-даних, дає можливість передбачити імовірні напрямки трансформації територій. Наприклад, система може вказати, що ділянка на периферії з високою транспортною доступністю і середнім рівнем щільності забудови має високу ймовірність зміни призначення із сільськогосподарського на житлове протягом наступних років [18, 19].

Також важливою складовою аналізу є оцінка змін у соціальному та екологічному аспектах. Зокрема, вивчаються наслідки ущільнення житлової забудови для стану зелених зон, шумового фону, рівня освітленості, температурного режиму (ефект «міського теплового острова»). На основі моделей таких змін можуть бути обґрунтовані управлінські рішення щодо

збереження екосистем, планування нових об'єктів соціальної інфраструктури, зонування територій відповідно до реальних потреб мешканців [13, 16].

Таким чином, аналіз змін у міському просторі в умовах ГІС – це технічна процедура порівняння даних і складна система інтерпретації динаміки розвитку міста. Вона дає змогу реалізувати стратегічне бачення трансформацій, ідентифікувати конфліктні зони, уникати помилок у плануванні та формувати адаптивну політику міського управління в умовах сталого розвитку.

ТЕМА 12 ГІС ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МІСЬКОЮ ЗАБУДОВОЮ

План

12.1 Оцінка земельних ресурсів міста.

12.2 Контроль розвитку інфраструктури.

12.1 Оцінка земельних ресурсів міста

Сьогодні земельні ресурси розглядаються як просторовий базис для розміщення об'єктів інфраструктури та багатофункціональний природний та економічний ресурс, що має соціальну, екологічну та фінансову цінність. У міському середовищі оцінка земель охоплює аналіз їх цільового використання, функціонального зонування, правового статусу, ринкової вартості та потенціалу для розвитку [11, 12].

Сутність оцінки земель полягає у визначенні їхньої придатності для конкретних видів діяльності та виявленні найбільш ефективних способів використання. У містах цей процес є більш складним порівняно з сільськими територіями, оскільки він враховує взаємодію різних факторів: щільність забудови, транспортну доступність, інженерне забезпечення, екологічні характеристики, соціальну інфраструктуру та потреби населення. ГІС-технології виступають базовим інструментом для інтеграції цих факторів, забезпечуючи просторову аналітику та візуалізацію даних [13, 14].

Сучасні методи оцінки земельних ресурсів міста включають економічну оцінку, що передбачає визначення нормативної та ринкової вартості земельних ділянок, екологічну оцінку, яка враховує стан ґрунтів, рівень забруднення та екосистемні послуги, а також містобудівну оцінку, що базується на аналізі функціонального зонування та генеральних планів. ГІС дозволяє поєднувати ці підходи в єдину систему, моделюючи взаємозв'язки між факторами та прогножуючи вплив планованих змін [15].

Особливого значення набуває оцінка ефективності використання земельних ділянок, яка дозволяє виявити недозавантажені території, резерви під забудову або реновацію, а також визначити зони, де відбувається хаотичне чи нецільове використання земель. Для цього застосовуються просторові методи аналізу – картографування щільності забудови, аналіз транспортної доступності, виявлення зон із низьким коефіцієнтом використання площ (наприклад, промислових територій, що втратили функціональність) [12, 16].

Дані про земельні ресурси міста збираються з багатьох джерел: державного земельного кадастру, містобудівного кадастру, планів зонування, статистики ринку нерухомості, даних дистанційного зондування Землі. Завдяки супутниковим знімкам і аерофотозйомці можливо автоматично визначати зміни у покритті територій, виявляти нові об'єкти та оцінювати стан зелених насаджень або вільних ділянок, придатних для забудови [4, 7].

У сучасних містах активно впроваджується підхід до оціночного зонування, коли територія поділяється на зони за показниками вартості, функціонального призначення, інвестиційної привабливості та екологічної безпеки. ГІС у цьому контексті виконує роль аналітичної платформи, яка автоматизує розрахунки, створює картографічні моделі та формує прогнозні сценарії використання земельних ресурсів [13, 15].

Важливою складовою є оцінка впливу урбанізації на стан земель, зокрема виявлення процесів деградації ґрунтів, ущільнення забудови, зменшення площ зелених насаджень. Завдяки аналізу багаточасових ГІС-даних можливо визначити, які райони зазнали найбільших змін, та розробити заходи з рекультивації або відновлення територій. Також активно застосовується аналіз потенціалу використання підземного простору (наприклад, для інженерних комунікацій або паркінгів), що стає актуальним у густонаселених містах [16, 18].

Таким чином, оцінка земельних ресурсів міста у середовищі ГІС є комплексним процесом, який поєднує аналітику, економічні та екологічні показники, правовий аспект і прогностичні моделі. Вона забезпечує ухвалення

зважених управлінських рішень, сприяє підвищенню ефективності використання міських територій та забезпечує основу для сталого розвитку міського середовища [11, 14, 17].

12.2 Контроль розвитку інфраструктури

Контроль розвитку міської інфраструктури є стратегічним напрямом управління територіями, спрямованим на забезпечення раціонального, збалансованого та сталого функціонування міста як єдиного соціотехногенного організму. У цьому контексті геоінформаційні системи забезпечують просторово-часовий моніторинг, аналітику та візуалізацію змін, що відбуваються в інфраструктурному каркасі міських територій [11, 12].

Інфраструктура сучасного міста включає транспортні мережі, інженерні комунікації (водопостачання, каналізація, електропостачання, газопостачання, теплопостачання), об'єкти соціальної сфери (школи, лікарні, адміністративні будівлі), а також технічні зони, енергетичні комплекси та системи обслуговування населення. Контроль розвитку цієї складної системи передбачає безперервне спостереження за її змінами, ефективністю функціонування, відповідністю нормативам та прогнозованим сценаріям розвитку [13, 14].

ГІС у цьому процесі забезпечує багатопараметричне середовище для збору, зберігання, аналізу й інтерпретації інформації щодо просторового розміщення інфраструктурних об'єктів, їх технічного стану, завантаженості, резервів пропускної здатності, аварійності, а також перспективних планів розбудови. Це дає змогу фіксувати фактичний стан та виявляти дисбаланси між забудовою і рівнем інфраструктурного забезпечення, недоцільне дублювання функцій або навантаження на системи [12, 15].

Особливе значення має моніторинг будівництва й реконструкції інфраструктурних об'єктів, який у ГІС реалізується шляхом накладення поточних даних (із містобудівного кадастру, реєстрів дозвільних документів, знімків супутників або БПЛА) на базову модель міста. Це дозволяє відстежувати виконання містобудівної документації, виявляти самовільне або

несанкціоноване будівництво, контролювати відповідність фактичного використання земель цільовому призначенню [14, 16].

Для аналізу інфраструктурної забезпеченості застосовуються методи геопросторового моделювання доступності, зокрема: побудова ізохрон, розрахунок зон обслуговування, аналіз покриття територій об'єктами критичної інфраструктури. Наприклад, за допомогою таких моделей можливо виявити райони, що знаходяться поза межами досяжності медичних або освітніх установ у допустимий час, і на основі цього приймати рішення щодо необхідності будівництва нових об'єктів [15, 17].

Інтеграція з даними мережевих систем та цифрових лічильників відкриває можливості для динамічного контролю навантаження на інженерні мережі. У середовищі ГІС ці дані можуть бути візуалізовані у вигляді тематичних шарів, що відображають витрати води, електроенергії, тепла в розрізі будинків, кварталів або мікрорайонів. Такі функції дозволяють своєчасно виявляти критичні точки навантаження або зниження ефективності, що в подальшому впливає на рішення щодо модернізації або реконструкції [12, 18].

Важливим напрямом контролю є також оцінка інфраструктурної сумісності при плануванні нових об'єктів, зокрема у щільно забудованих районах. Застосування ГІС-моделей дозволяє аналізувати, чи існуюча інженерна інфраструктура здатна забезпечити потреби нових будівель, чи буде перевищено проектне навантаження, чи потрібно влаштовувати нові лінії зв'язку, електропередач, каналізації тощо. Таким чином, ГІС підтримує рішення про доцільність забудови на певних ділянках [16, 19].

Контроль розвитку інфраструктури у сучасному місті неможливо реалізувати без інтеграції просторових даних із правовою, економічною та екологічною інформацією. Наприклад, проєкт реконструкції водопровідної мережі повинен враховувати зони санітарного захисту, межі охоронних зон, обмеження відповідно до земельного кадастру, а також бюджетні обмеження і пріоритети міських програм. ГІС надає платформу, яка поєднує ці аспекти в єдине аналітичне середовище [11, 15, 18].

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ТЕМА 13 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У МІСЬКОМУ ПЛАНУВАННІ ТА ПРОЄКТУВАННІ

План

13.1 Аналіз використання земель міста.

13.2 Підтримка ухвалення рішень у міському господарстві з використанням ГІС.

13.1 Аналіз використання земель міста

Аналіз використання земель міста є одним із основних напрямів міського планування та просторового моніторингу, що дозволяє оцінити структуру територіального розвитку, ступінь ефективності використання земельних ресурсів, виявити конфлікти у зонуванні та спрогнозувати можливі сценарії трансформацій міського простору. У сучасних умовах цей аналіз неможливий без застосування геоінформаційних систем, які надають можливість інтегрувати, візуалізувати та аналітично опрацьовувати багатокomпонентні просторові та атрибутивні дані [11, 12].

Землі міста зазвичай класифікуються відповідно до їх функціонального використання: житлова забудова, промислові зони, громадсько-ділові центри, інженерно-транспортна інфраструктура, землі загального користування, зелені зони, землі спеціального призначення, а також резервні і тимчасово не використані території. Просторове структурування цієї інформації у ГІС забезпечує формування тематичних шарів, які дозволяють здійснювати

кількісно-якісний аналіз землекористування, як у цілому по місту, так і в межах окремих мікрорайонів, кварталів або функціональних зон [13].

Однією з найважливіших задач аналізу є визначення структури землекористування, яка дозволяє оцінити частки кожної категорії використання у загальному балансі земель міста. Цей аналіз є основою для подальших управлінських рішень: наприклад, якщо частка зелених зон менше 15 % у щільно заселеному районі, виникає необхідність розширення рекреаційної інфраструктури. Або ж, навпаки, перевищення площі під промисловість у центрі міста може свідчити про застаріле функціональне планування, що потребує ревіталізації [12, 14].

ГІС-технології дають змогу виявляти конфлікти у використанні земель, які виникають у результаті невідповідності фактичного землекористування встановленим регламентам, функціональному зонуванню, правовому статусу або генеральному плану. Наприклад, у ГІС можна автоматично виявити випадки розміщення житлової забудови у зонах інженерних комунікацій, незаконне розширення території об'єктів комерції чи самовільне захоплення земель загального користування [15, 16].

Аналіз використання земель також дозволяє проводити оцінку динаміки змін, використовуючи багаточасові дані – зокрема, супутникові знімки, аерофотознімання, архіви кадастрової інформації. За допомогою сучасних інструментів можна виявити процеси ущільнення забудови, скорочення зелених зон, зміни структури промислових територій, трансформацію прибережних смуг або територій колишніх промислових підприємств. Цей аналіз є надзвичайно важливим для виявлення несанкціонованої діяльності або прогнозування навантаження на інфраструктуру [14, 17].

У сучасній практиці все ширше застосовується підхід оцінювання ефективності землекористування, що базується на показниках щільності забудови, коефіцієнтах функціонального насичення, інтенсивності використання територій та наявності супутніх об'єктів інфраструктури. Наприклад, за допомогою просторового аналізу можливо виявити

низькоефективно використані території в межах центральної частини міста, які доцільно реконструювати, або резервні землі, що мають потенціал для соціального житла чи парків [13, 15].

У ГІС-аналіз включається також оцінка просторової справедливості у доступі до земель, яка полягає у вивченні того, наскільки рівномірно розподілені зелені зони, заклади охорони здоров'я, освіти або рекреації між різними районами міста. Виявлення таких дисбалансів може бути підставою для перегляду містобудівної політики або впровадження соціально орієнтованих програм розвитку [11, 18].

Таким чином, аналіз використання земель міста на основі ГІС – це не лише інвентаризація територій, але й багатовимірна аналітика, що охоплює правові, функціональні, соціальні та екологічні аспекти. Його результати є основою для ухвалення стратегічних і тактичних рішень у сфері містобудування, землеустрою, інфраструктурного розвитку та регіональної політики [12, 14, 17].

13.2 Підтримка ухвалення рішень у міському господарстві з використанням ГІС

У сучасному місті, де просторові процеси відзначаються високою динамікою, багатофакторністю та взаємозалежністю, ефективно ухвалення рішень можливе лише за умов цифрового аналізу територій, візуалізації сценаріїв і багаторівневого моніторингу. Саме ГІС дозволяє реалізувати ці функції в інтегрованому аналітичному середовищі [11, 12].

ГІС як система підтримки рішень об'єднує три ключові компоненти: інформаційний, що забезпечує збирання та обробку даних; аналітичний, що реалізує алгоритми моделювання, симуляції, просторового аналізу; та візуалізаційний, який трансформує складну інформацію у доступну форму для сприйняття управлінцями, проєктувальниками та громадськістю. На цій основі

приймаються рішення, які враховують не лише технічні, а й соціально-економічні, правові й екологічні чинники [13, 14].

Одним із провідних напрямів застосування ГІС у підтримці рішень є містобудівне планування, де система забезпечує аналіз забудованості, доступності, зон функціонального призначення, потенціалу розвитку територій. Рішення щодо розміщення нових об'єктів інфраструктури, зміни цільового призначення земель, реновації кварталів або збереження природних зон можуть бути прийняті на основі просторового аналізу, включаючи ізохронні моделі доступу, аналіз ущільнення, конфліктне зонування тощо [12, 15].

Іншим важливим прикладом є аналіз ризиків і аварійної вразливості, зокрема в аспектах безпеки об'єктів критичної інфраструктури, зон підтоплення, сейсмічних ризиків або теплових аномалій. ГІС дозволяє моделювати потенційні сценарії розвитку надзвичайних ситуацій та визначати оптимальні шляхи реагування, евакуації, розміщення служб оперативного реагування. Такі інструменти активно використовуються муніципальними структурами та службами цивільного захисту [14, 16].

Важливою функцією ГІС є багатокритеріальна оцінка територій. Наприклад, при виборі земельної ділянки під новий соціальний об'єкт (школу, лікарню, парк) ГІС дає змогу врахувати десятки факторів – від близькості до житлових районів і транспортної доступності до стану інженерної мережі та екологічного фону. Така оцінка реалізується через алгоритми зваженого накладання шарів, аналітичну ієрархічну процедуру та інші методи ухвалення рішень [13, 17].

ГІС-платформи підтримують також прозоре й інтерактивне управління – зокрема, через реалізацію вебкарт, публічних геопорталів і електронних сервісів участі громадян. Це дає змогу залучити населення до обговорення проєктів розвитку, моніторингу проблем, надсилання зворотного зв'язку. Такі практики є частиною концепції «smart governance» – цифрового врядування на основі відкритих даних і публічного діалогу [11,16].

У сучасних системах підтримки рішень реалізується також сценарне та прогностичне моделювання. Наприклад, ГІС може використовуватись для оцінки впливу реалізації нового генерального плану на транспортні потоки, навантаження на енергосистему, використання земель, зміну рівня шуму чи забруднення повітря. Результати подаються у вигляді інтерактивних карт, діаграм, 3D-моделей, що робить їх доступними для спільного обговорення між фахівцями та владою [15, 18].

Отже, ГІС як інструмент підтримки ухвалення рішень у міському господарстві є не просто технічним середовищем візуалізації, а повноцінною платформою для стратегічного аналізу, моделювання, прогнозування та забезпечення комунікації між усіма учасниками урбаністичного процесу. Її застосування підвищує якість управлінських рішень, сприяє зниженню ризиків, оптимізує використання ресурсів і забезпечує сталий розвиток міста [12, 14, 17].

ТЕМА 14 ГІС ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

План

14.1 Оцінка стану навколишнього середовища з використанням ГІС.

14.2 Управління ресурсами, оцінка ризиків та екологічних впливів.

14.1 Оцінка стану навколишнього середовища з використанням ГІС

Оцінка стану навколишнього середовища у міському середовищі є однією з найактуальніших задач для сталого розвитку територій. В умовах зростаючого антропогенного навантаження на урбанізовані території необхідність у комплексному моніторингу екологічної ситуації та своєчасному виявленні негативних тенденцій набуває особливого значення. Геоінформаційні системи у цьому контексті виступають як інтегрована платформа для збору, зберігання, аналізу, моделювання та візуалізації просторово орієнтованих екологічних даних [11, 12].

У межах ГІС-аналізу оцінка стану довкілля здійснюється через багатофакторну інтерпретацію даних, що охоплюють різні компоненти навколишнього середовища: атмосферне повітря, ґрунти, водні ресурси, зелені насадження, рівень шуму, радіаційний фон, теплові аномалії та інші показники. Застосування дистанційного зондування Землі, мобільного екологічного моніторингу, стаціонарних постів спостереження забезпечує регулярне оновлення інформації і дозволяє здійснювати оперативне реагування на зміни [13, 14].

Одним з основних напрямів є моніторинг якості атмосферного повітря. Дані супутників Sentinel-5P (TROPOMI), MODIS, а також наземних датчиків у поєднанні з ГІС-аналітикою дозволяють виявляти концентрації оксидів азоту (NO₂), озону (O₃), вуглекислого газу (CO₂), часток PM_{2.5}/PM₁₀ тощо.

Візуалізація цих даних у вигляді тематичних шарів та теплових карт дозволяє визначити зони підвищеної забрудненості, що часто корелюють із транспортними артеріями, промисловими зонами або щільно забудованими мікрорайонами [15, 16].

Не менш важливою складовою є оцінка стану зелених насаджень, яка реалізується через індексну обробку супутникових зображень (NDVI, SAVI, EVI). Ці індекси дозволяють кількісно оцінити площу, густоту та стан рослинного покриву, виявляти деградацію зелених зон, а також планувати озеленення міських територій з урахуванням теплового комфорту, зменшення шуму і поглинання забруднювачів. За допомогою ГІС можна також порівнювати динаміку змін у вегетаційному покриві протягом декількох років та виявляти зони критичного зменшення зелених площ [12, 17].

ГІС-технології також дозволяють оцінювати рівень акустичного забруднення. На основі моделювання руху транспорту, типології забудови, джерел шуму та бар'єрних об'єктів у ГІС створюються просторові моделі шумового фону. Це дає змогу ідентифікувати зони з перевищенням граничнодопустимих рівнів шуму, що має важливе значення при зонуванні житлових територій, розміщенні дитячих садків, лікарень, рекреаційних об'єктів тощо [14, 18].

Також активно реалізуються ГІС-моделі теплових островців міста, які базуються на даних інфрачервоної зйомки або супутникових спостережень (наприклад, Landsat 8/9 TIRS). Вони дозволяють визначати райони з підвищеною температурою поверхні, що виникає через ущільнення забудови, відсутність зелених насаджень і високу щільність транспортних потоків. На основі таких моделей можна приймати рішення щодо пріоритетного озеленення, облаштування світловідбивного покриття дахів або зміни матеріалів дорожнього покриття [16, 19].

Оцінка стану ґрунтів та водного середовища у межах міста також реалізується на основі просторового аналізу. За допомогою результатів екологічних проб, інтегрованих у ГІС, моделюються карти забруднення

важкими металами, нафтопродуктами, нітратами, пестицидами. Можливе також просторове відтворення змін у гідрологічному режимі: розміщення джерел забруднення, стан малих річок, локалізація зон підтоплення. Це дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки та приймати ефективні рішення щодо ренатуралізації водойм або локального очищення ґрунтів [17, 20].

ГІС дозволяє не лише аналізувати поточний стан навколишнього середовища, а й проводити сценарне прогнозування, імітуючи наслідки реалізації різних містобудівних рішень або зміни кліматичних умов. Наприклад, можна змодельовати, як зменшення площі парків на 20 % вплине на температуру поверхні або які наслідки матиме ущільнення забудови для якості повітря в конкретному мікрорайоні [12, 15].

Таким чином, ГІС-технології виступають потужним засобом об'єктивної оцінки стану довкілля в міському просторі, дозволяючи поєднувати традиційні методи моніторингу з високоточними просторовими моделями. Їх використання забезпечує інтегроване бачення екологічного стану території, підтримує ухвалення рішень і сприяє реалізації принципів сталого розвитку міст [11, 13, 17].

14.2 Управління ресурсами, оцінка ризиків та екологічних впливів

Управління природними ресурсами в межах міського середовища вимагає врахування численних факторів: обмеженості ресурсів, високої концентрації антропогенних навантажень, просторової неоднорідності середовища та швидкої динаміки змін. ГІС у цьому випадку забезпечують ефективне середовище для інтеграції даних, моделювання ситуацій, прогнозування наслідків і підтримки ухвалення рішень, пов'язаних із збереженням, розподілом і раціональним використанням ресурсів у містах [11, 12].

Одним із основних завдань ГІС у цій сфері є інвентаризація і моніторинг стану ресурсів – земельних, водних, лісових, енергетичних. Зокрема, у містах здійснюється просторовий облік зелених зон, водойм, джерел водопостачання, ділянок із природоохоронним статусом, рекреаційних територій, потенційно

придатних для відновлення. За допомогою ГІС можна автоматизовано формувати карти використання ресурсів, здійснювати багат шарове зонування, моделювати навантаження та ідентифікувати конфліктні зони [13, 14].

Управління ресурсами потребує окрім фіксації наявного стану, ще й оцінки ризиків, пов'язаних із їх виснаженням, забрудненням або нераціональним використанням. ГІС дозволяє моделювати ризики шляхом аналізу поєднання геофакторів (рельєф, гідрологія, ґрунти), соціально-економічних характеристик (щільність населення, інфраструктурне навантаження), даних спостережень та нормативів допустимих навантажень. Наприклад, при оцінці стану водойм або зелених насаджень можливо визначити зони деградації або ризику зникнення, що потребують невідкладного екологічного втручання [14, 15].

Особливої актуальності набуває екологічне моделювання впливів – оцінка того, як заплановані зміни у міському середовищі (нове будівництво, реконструкція, прокладення інженерних мереж) вплинуть на стан довкілля. ГІС-технології дозволяють будувати сценарії впливу: наприклад, розрахунок збільшення кількості автотранспорту і пов'язане з цим погіршення якості повітря, збільшення рівня шуму, скорочення вегетативного покриву, зміна теплового балансу. Можливе також оцінювання кумулятивних впливів, коли різні джерела (транспорт, промисловість, щільна забудова) накладаються в одній зоні й посилюють екологічну напругу [12, 16].

Завдяки просторовому аналізу у ГІС можлива локалізація екологічно вразливих зон, таких як зони підтоплення, зсувонебезпечні схили, райони з перевищенням забруднень повітря або ґрунтів, території зі зниженим біорізноманіттям. Для цього використовуються багаточасові супутникові знімки, дані моніторингових станцій, польові обстеження, а також алгоритми класифікації земного покриву (наприклад, supervised classification, random forest) [13, 17].

Окремим напрямом є інтеграція ГІС з інструментами оцінки впливу на довкілля, що дозволяє на ранньому етапі проєктування враховувати екологічні

чинники. Використовуючи вхідні дані про рельєф, гідрографію, розу вітрів, щільність забудови та існуючі обмеження, у ГІС можна змодельовати зону впливу об'єкта, визначити зони поширення шуму, викидів, змін у потоках поверхневих вод тощо. Це забезпечує підвищення екологічної обґрунтованості рішень і скорочення ризиків соціального конфлікту [15, 18].

Також ГІС є інструментом екосистемного планування, яке базується на концепції збалансованого розвитку і збереження екологічних функцій територій. У цьому випадку планування міського середовища враховує не лише технічну доцільність забудови, а й значення природних елементів – зелених коридорів, дренажних систем, екосистемного обслуговування. ГІС-моделі дозволяють ідентифікувати екосистемні послуги (наприклад, рекреація, очищення повітря, утримання вологи) й формувати просторові стратегії їх збереження [11, 16, 19].

ТЕМА 15 ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

План

15.1 Особливості планування доріг із використанням ГІС.

15.2 Планування громадських споруд та зон рекреації.

15.1 Особливості планування доріг із використанням ГІС

Планування міських доріг є однією з найскладніших складових територіального розвитку, оскільки воно поєднує як інженерні, так і соціально-економічні, екологічні та просторові аспекти. У сучасних умовах, коли динаміка урбанізації та щільність забудови ускладнюють транспортні потоки, ефективне управління дорожньою інфраструктурою можливе лише за умови впровадження цифрових технологій, зокрема геоінформаційних систем. ГІС забезпечують комплексний аналіз просторових характеристик мережі, доступність об'єктів, ефективність маршрутів, моделювання заторів, виявлення «вузьких місць» і формування сценаріїв реконструкції [17].

Функціональне зонування міських доріг є основою для їх ефективного проектування. Міська вулична мережа складається з магістральних доріг загальноміського значення (основних та районних), колекторних вулиць, локальних під'їздів і пішохідної інфраструктури. Кожна категорія доріг має різне інженерне навантаження, пропускну здатність, допустиму швидкість, умови паркування і потреби в обслуговуванні [14].

ГІС дозволяє створювати класифікаційні шари дорожньої мережі за функціональними типами з прив'язкою до просторових координат. Завдяки цьому формується структурована база для аналізу щільності, зв'язності та ієрархії мережі. Відповідно до європейських стандартів (наприклад, моделей Sustainable Urban Mobility Plan – SUMP), планування має включати формування

транспортних коридорів, які забезпечують безперервне і раціональне сполучення між районами [11].

Одним із центральних понять при плануванні доріг є транспортна доступність – тобто час і зусилля, необхідні для досягнення певного об'єкта або району. За допомогою інструментів ГІС, зокрема аналізу сервісних зон, буферного аналізу та побудови ізохрон, можливо визначити ефективність транспортного охоплення. Це дозволяє планувати розміщення громадського транспорту, визначати нерівномірність обслуговування та ухвалювати рішення щодо нових зупинок чи доріг [12].

Наприклад, у QGIS або ArcGIS Network Analyst можна створювати карти доступності до шкіл, лікарень чи адміністративних установ з урахуванням часу доби, типу транспорту (пішохід, автомобіль, автобус), середньої швидкості, щільності руху тощо. Такі моделі дозволяють оцінити рівень інфраструктурної справедливості – тобто забезпеченість жителів транспортом незалежно від їхнього місця проживання [11].

Оптимізація транспортних маршрутів у міських умовах – це завдання, що потребує гнучкої адаптації до зміни трафіку, аварійних ситуацій, сезонності та інших факторів. ГІС-технології дозволяють автоматизувати пошук найкоротших або найшвидших маршрутів з урахуванням обмежень, наприклад: обмеження ваги для вантажного транспорту, закриті вулиці, односторонній рух тощо [11].

Класичні методи – алгоритм Дейкстри, A^* , або транспортні моделі на основі теорії графів – дозволяють реалізувати такі обчислення. При цьому базові дані, як-от OpenStreetMap, збагачуються атрибутами дорожнього покриття, ширини, умов експлуатації, що збільшує точність моделі. Результати аналізу можуть використовуватись для побудови маршрутів громадського транспорту та оптимізації маршрутів спецтехніки (швидка, пожежна, прибирання сміття), вантажного транспорту, комунальних служб.

За допомогою просторового аналізу в ГІС можливо визначити інтенсивність використання окремих відрізків доріг, зокрема через дані GPS-трекінгу, сенсори потоків, мобільний зв'язок та ін. (Google Traffic, Waze, ін.).

Просторове розподілення навантаження відображається на тематичних шарах у вигляді теплових карт, які дозволяють виявити надмірно перевантажені сегменти. Це є основою для планування розширення смуг, зміни світлофорного циклу, прокладання об'їздів або впровадження зон з обмеженням руху.

Наприклад, у містах з високою інтенсивністю приватного транспорту доцільним є впровадження гнучких схем руху з пріоритетом для громадського транспорту, велосипедистів та пішоходів. При цьому аналіз у ГІС дозволяє моделювати результати змін до їх впровадження, що мінімізує ризики неефективного проєктування [16].

Під час проєктування нових доріг доволі важливо враховувати урбаністичні параметри та природні умови: рельєф, гідрографічну мережу, ґрунтові умови, наявність зелених зон або охоронних територій. Інструменти ГІС дають змогу інтегрувати шари цифрової моделі рельєфу, геологічні карти, дані гідрології, охоронних зон. Це дозволяє уникнути будівництва у зонах ризику – зсувних, підтоплюваних, екологічно вразливих [11].

Окрім цього, у процесі планування розглядається вплив дорожнього будівництва на довкілля – рівень шуму, забруднення повітря, скорочення зелених зон. Аналіз за допомогою ГІС включає моделювання впливу на прилеглі території та створення екологічних компенсаційних заходів, зокрема – екранів, озеленення, прокладання екокоридорів.

15.2 Планування громадських споруд та зон рекреації

Громадські споруди – це об'єкти соціальної інфраструктури, що формують життєдіяльність міста. До них належать адміністративні, освітні, медичні, культурні, торговельні, спортивні та релігійні установи, які обслуговують потреби населення та забезпечують комфортне існування в межах міського середовища. Їх планування є важливою частиною стратегій просторового розвитку міста.

Геоінформаційні системи дозволяють аналізувати розміщення громадських об'єктів у контексті [19]:

- щільності забудови;
- чисельності населення;
- демографічних характеристик;
- транспортної доступності;
- інженерного забезпечення.

На основі таких даних формуються оптимальні зони обслуговування (наприклад, радіуси дії поліклінік, дитячих садків чи шкіл) і виявляються «білі плями» – території з недостатнім покриттям об'єктами соціальної інфраструктури.

У середовищі ArcGIS або QGIS створюються картограми щільності населення, шарів з радіусами обслуговування, карт доступності, що дає змогу здійснювати розрахунок потреби в нових об'єктах та обґрунтувати їх розміщення [16].

Під час аналізу забезпеченості необхідно враховувати не лише факт наявності об'єкта, а й його функціональну спроможність. Наприклад, якщо норматив на 1 000 мешканців припускає наявність однієї амбулаторії, а в мікрорайоні з населенням у 3 000 мешканців функціонує лише один невеликий пункт на 5 відвідувачів – територія фактично є незабезпеченою.

Методи ГІС дозволяють створювати шари з ваговими коефіцієнтами (наприклад, доступність помножена на коефіцієнт пропускної здатності), будувати кластерні аналізи та індекси забезпеченості. Так, наприклад, у Києві та Львові були створені індекси доступності до шкіл і медичних закладів із прив'язкою до кожної будівлі, що дозволило точно визначити зони дефіциту та запропонувати оптимальні локації для нових закладів [19].

Особливу цінність має також інтеграція з даними перепису населення, що дає змогу відображати соціальну структуру населення (вік, стать, економічний стан) в просторовому контексті. Це дозволяє розміщувати громадські об'єкти за цільовим призначенням – наприклад, будувати додаткові дитячі садки в районах

з високою часткою молодих сімей або відкривати амбулаторії в місцях концентрації літніх людей [19].

Зони рекреації – парки, сквери, набережні, ботанічні сади, спортивні майданчики – є важливими для забезпечення якості життя в місті. Зелені насадження регулюють мікроклімат, знижують рівень шуму, сприяють біорізноманіттю, формують естетику міського простору та забезпечують фізичне й психологічне здоров'я населення.

ГІС-аналіз дозволяє [11]:

- визначити площі зелених зон у відсотках до загальної площі населеного пункту;
- розрахувати середню відстань до найближчої зеленої зони для кожної житлової будівлі;
- виявити просторові розриви в доступі до рекреаційних територій;
- моделювати сценарії озеленення районів з надмірною щільністю забудови.

На прикладі Барселони, Відня та Любліна реалізовано концепції «15-хвилинного міста», де кожен мешканець має доступ до зелених територій в межах 15 хвилин пішої доступності. Для реалізації таких концепцій ГІС використовується як основа для побудови зон досяжності, визначення радіусів дії та складання пріоритетів щодо озеленення [10].

У середовищі GIS можна реалізувати теплові карти зон комфорту, які враховують сумарну інсоляцію, наявність тіні від дерев, вологість, шум, концентрацію дрібнодисперсного пилу – тобто комплексно оцінювати простір з точки зору екологічної придатності до відпочинку.

Планування громадських споруд у XXI столітті нерозривно пов'язане з питаннями енергоефективності, екологічної безпеки та стійкості до змін клімату. Наприклад, при проєктуванні шкіл чи лікарень вкрай важливо враховувати [20]:

- напрямки панівних вітрів;
- рівень шуму;

- природне освітлення;
- затінення сусідніми спорудами;
- близькість до джерел викидів або промислових об'єктів.

ГІС дозволяє здійснювати 3D-аналіз інсоляції, створювати шари шумового забруднення, аналізувати мікроклімат. Результати інтегруються у BIM-системи або у середовища моделювання (як ArcGIS Urban, CityEngine), що дає змогу проектувати інженерно та екологічно оптимізовані споруди.

Сучасні технології також дозволяють будувати цифрові двійники об'єктів громадської інфраструктури, що поєднують ГІС-компоненти з сенсорними даними реального часу, включаючи споживання енергії, температуру, трафік тощо [11].

Оцінка потреб у нових громадських об'єктах проводиться через просторове прогнозування попиту, що базується на демографічних, соціально-економічних, мобільних та статистичних показниках. У ГІС це реалізується через [11]:

- побудову карт майбутньої щільності населення;
- моделі прогнозу народжуваності / старіння;
- аналіз міграційних потоків;
- злиття різнорідних даних (open data, кадастр, мобільні оператори, соцмережі).

Наприклад, якщо за даними демографічного прогнозу передбачається зростання кількості молоді в північно-західному секторі міста, ГІС-модель може запропонувати сценарій розміщення додаткового ліцею з урахуванням транспортної доступності, наявної інфраструктури і земельних резервів.

У перспективі застосування машинного навчання в поєднанні з ГІС дозволяє будувати самонавчальні моделі розміщення громадських послуг на основі десятків параметрів – від топографії до соціальних уподобань. Таким чином, планування перестає бути лише інженерною задачею і трансформується в складний аналітичний процес, орієнтований на потреби майбутнього.

ТЕМА 16 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГІС ДЛЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

План

16.1 Процеси використання БПЛА в міському середовищі.

16.2 Особливості 3D-моделювання, інтеграція ГІС із BIM.

16.1 Процеси використання БПЛА в міському середовищі

БПЛА на сучасному етапі розвитку технологій стали ефективним інструментом збору просторових даних у міському середовищі. Їх застосування дозволяє значно підвищити оперативність, точність і гнучкість геоінформаційного забезпечення процесів управління міською інфраструктурою, планування територій, моніторингу стану забудови, технічного нагляду за об'єктами і оперативного реагування в умовах надзвичайних ситуацій [21, 22].

БПЛА здійснюють аерофотозйомку, лазерне сканування, термографію та гіперспектральне зондування. Основна перевага їх використання – можливість отримання високоточних і високодеталізованих знімків у надкороткі терміни, що особливо важливо для динамічного урбаністичного середовища, де об'єкти швидко змінюються, а стандартні геодезичні методи часто не забезпечують належної мобільності [23, 24].

Процеси використання БПЛА в міських умовах включають кілька стадій:

1. Планування польотного завдання, що враховує конфігурацію забудови, правила повітряного простору, наявність зон обмеження польотів (наприклад, поблизу об'єктів критичної інфраструктури чи аеропортів), погодні умови та безпекові чинники.

2. Калібрування і налаштування обладнання, зокрема камер, лазерних сканерів або термодатчиків, залежно від цілей дослідження – топографічна зйомка, обстеження теплових втрат будівель, облік зелених насаджень тощо.

3. Польотне виконання, під час якого здійснюється збирання даних з використанням GNSS-навігації, інерційних систем, а також методів стабілізації й дотримання маршруту.

4. Камеральна обробка, що включає фотограмметричне вирівнювання, побудову ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та поверхні (ЦМП), генерацію 3D-моделей, векторизацію та аналітичну обробку в ГІС-середовищі [22, 25].

У практиці міського господарства БПЛА використовуються для:

- моніторингу стану інфраструктури (дахів, фасадів, мостів, шляхопроводів) без залучення висотників, що суттєво знижує витрати і ризику [26];

- оновлення топографічних і кадастрових карт, особливо в районах із активною забудовою або знищеною інфраструктурою (після катастроф або бойових дій);

- оцінки стану зелених насаджень, аналізу корон дерев, щільності рослинності, моніторингу шкідників і хвороб у міських екосистемах [23];

- контролю виконання будівельних робіт, з фіксацією прогресу в динаміці, що дозволяє вести цифрову хронологію реалізації об'єктів;

- оцінки об'ємів відходів та порушень у міських кар'єрах, полігонах ТПВ або стихійних звалищах, де важливо швидко отримати точні цифрові моделі [25].

Сучасні інтегровані платформи дозволяють поєднувати дані БПЛА із супутниковими матеріалами, даними з публічних сервісів (наприклад, OpenStreetMap або реєстрів майна) в єдиному середовищі ГІС. Це сприяє підвищенню точності ухвалення рішень, автоматизації процесів аналізу й створенню цифрових двійників міських об'єктів.

Проте використання БПЛА у місті має і певні обмеження: це, зокрема, нормативні бар'єри, необхідність дотримання законодавства щодо конфіденційності даних, ризики пов'язані з польотами в умовах забудови або поблизу ЛЕП. Також важливою проблемою є стандартизація форматів даних і їх сумісність із муніципальними інформаційними системами [26].

У контексті трансформації міст у «розумні» БПЛА розглядаються як один з елементів інтелектуальної екосистеми спостереження, з можливістю швидкого реагування, автоматичної маршрутизації, онлайн-обробки та інтеграції в системи штучного інтелекту, що відкриває нові горизонти для містобудування та просторового аналізу [24].

16.2 Особливості 3D-моделювання, інтеграція ГІС з BIM

Містобудівні процеси, зростання інфраструктурної складності міст і необхідність ухвалення рішень на основі багатовимірної інформації сприяли розвитку просторових технологій нового покоління – тривимірного моделювання та інтеграції геоінформаційних систем з інформаційним моделюванням будівель (BIM). У синергії ці два напрями забезпечують фундамент для концепції «цифрового двійника міста», що дає змогу ефективно планувати, аналізувати та управляти міським середовищем на якісно новому рівні [21, 22].

3D-моделювання в ГІС формує об'ємне зображення об'єктів міської інфраструктури – будівель, доріг, інженерних мереж, рельєфу, зелених зон – на основі просторово координованих даних. На відміну від традиційних 2D-карт, тривимірні моделі забезпечують багатопараметричне зображення об'єктів, з урахуванням висоти, об'єму, орієнтації, складу матеріалів, функціонального призначення. Це особливо важливо для задач:

- моделювання щільності забудови та інсоляції;
- аналізу тіньових зон і візуального впливу нових споруд;
- планування евакуаційних маршрутів у надзвичайних ситуаціях;

– проєктування енергозбереження на рівні кварталів і мікрорайонів [23, 24].

Для створення 3D-моделей застосовуються різні технології: аерофотознімання з БПЛА, лазерне сканування, мобільне картографування, фотограмметрія, супутникові висотні моделі, а також дані цифрових кадастрів. Дані зберігаються у форматах, що підтримують об'ємну геометрію (CityGML, 3D Tiles, OBJ, IFC), і інтегруються в середовищах ArcGIS Pro, QGIS, Bentley, Autodesk InfraWorks тощо [25].

Використання 3D-моделей суттєво покращує візуалізацію та сприйняття міського простору при обговоренні проєктів з громадськістю, розробці проєктів зонування, оцінці транспортних потоків, реконструкції об'єктів культурної спадщини.

Інформаційне моделювання будівель (BIM) забезпечує детальну структурну, геометричну, інженерну та експлуатаційну інформацію про будівлі і споруди, починаючи з етапу проєктування і до виведення з експлуатації. На відміну від ГІС, яка фокусується на контексті – території, просторових зв'язках, взаємодії між об'єктами – BIM деталізує об'єкт до рівня конструктивного елементу (стіна, перекриття, комунікація), часто без географічної прив'язки на ранніх стадіях [26].

Інтеграція ГІС і BIM дозволяє об'єднати «макро-» і «мікрорівні даних про місто, формуючи цілісну цифрову модель середовища. Основні переваги інтеграції:

- зміщення геопросторового контексту (ГІС) із будівельною деталізацією (BIM) дозволяє аналізувати вплив конкретного об'єкта на навколишню інфраструктуру – транспорт, водопостачання, екологію;

- полегшення містобудівного аналізу: наприклад, можна змоделювати, як споруда вплине на панораму міста або як зміниться водовідведення в результаті ущільнення забудови;

- управління об'єктами на всьому життєвому циклі, включаючи технічне обслуговування, ремонти, енергоефективність, відповідність нормативам;

– формування цифрових двійників, що дає змогу вести моніторинг стану об'єкта в реальному часі, інтегруючи дані від сенсорів IoT, дронів, супутників.

Технологічно інтеграція досягається через перетворення форматів (IFC в GDB або CityGML), використання middleware (FME, ArcGIS GeoBIM), або платформ, які безпосередньо поєднують обидві сфери – Autodesk BIM360 з ArcGIS GeoBIM, Bentley OpenCities Planner, Trimble Cityworks.

Загальна тенденція розвитку інфраструктурного планування, містобудування, «розумних міст», управління активами і зміни клімату веде до зростання ролі таких інтегрованих моделей, які вже сьогодні застосовуються в Європі, Азії, США в національних інфраструктурних платформах (наприклад, Digital Twins UK, Singapore Virtual City) [28].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Geospatial analysis of the territory for solving urban planning problems [Electronic resource] / K. Mamonov, S. Nesterenko, M. Pilicheva, A. Afanasiev, A. Tsyhenko // E3S Web of Conferences. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 508. – Article 08021. – Regime of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450808021>, free (application date: 20.08.2025). – Header from the screen.
2. Горб О. Напрями застосування штучного інтелекту при геодезичному моніторингу будівель та споруд [Електрон. ресурс] / О. Горб, С. Нестеренко, О. Афанасьєв, О. Байструк // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Т. 3, Вип. 177. – С. 109–114. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-109-114>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.
3. Геоінформаційна підтримка розмінування територій Харківської області [Електрон. ресурс] / М. Мироненко, С. Нестеренко, А. Рай, О. Фролов // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2024. – Т. 3, Вип. 184. – С. 157–161. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-157-161>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.
4. Містобудівне забезпечення розробки геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, О. В. Кондращенко, К. О. Метешкін, С. Г. Нестеренко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Електрон. текст. дані. – 2024. – Вип. 115, ч. 2. – С. 190–198. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/115.2/190.pdf, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана. – DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-190-198>.

5. Kravchuk O. Monitoring and administration of urban environment using geoinformation technologies [Electronic resource] / O. Kravchuk, S. Nesterenko, V. Kasyanov // Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft. – Electronic text data. – 2024. – № 83. – С. 46–50. – Regime of access: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12657254>, free (application date: 01.039.2025). – Header from the screen.

6. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між інтегральним показником рівня забезпечення геопросторового розвитку територіальних громад і узагальнюючим чинником розвитку регіонів [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, С. А. Халіков, В. В. Гой, Р. С. Вяткін // Scientific World Journal. – Електрон. текст. дані. – 2024. – № 26, ч. 1. – С. 116–122. – Режим доступу: <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/issue/view/swj26-01/swj26-01>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

7. Методичні засади застосування геоінформаційних систем і технологій у містобудівному моніторингу нерухомості територіальних громад [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, А. А. Євдокимов, Ю. Б. Радзінська, Е. С. Штерндок, С. Г. Нестеренко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Вип. 118, ч. 1. – С. 114–122. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/118.1/114.pdf, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

8. Інструментальні методи моніторингу земель міст [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська, І. В. Кондратюк, С. А. Халіков // Комунальне господарство міст. Сер. Технічні науки та архітектура. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Т. 3, Вип. 177. – С. 98–103. – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6130/6048>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана. – DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-98-103>.

9. Карпінський Ю. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування [Електрон. ресурс] / Ю. Карпінський, Н. Лазоренко-Гевель // Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства. – Електрон. текст. дані. – Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2018. – Вип. I (35). – С. 204–211. – Режим доступу: <https://gki.com.ua/metodi-zbirannja-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannja>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.
10. Kitchin R. The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences / R. Kitchin. – London : SAGE, 2021. – 304 p.
11. Шаригін В. М. Застосування геоінформаційних технологій для моделювання транспортних потоків в умовах міста [Електрон. ресурс] / В. М. Шаригін // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Вип. 52. – С. 133–139. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spam_2018_52_20, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.
12. Haklay M. Interacting with Geospatial Technologies [Electronic resource] / Muki Haklay. – Electronic text data. – Chichester : John Wiley & Sons, 2010. – 312 p. – ISBN 978-0470998243. – Regime of access: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5778/05/L-G-0000577805-0002359475.pdf>, free (application date: 09.08.2025). – Header from the screen.
13. Goodchild M. F. GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues [Electronic resource] / M. F. Goodchild, B. O. Parks, L. T. Steyaert. – Electronic text data. – New York : John Wiley & Sons, 1996. – 520 p. – ISBN 978-0471110903. – Regime of access: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3730/1/RR-94-02.pdf>, free (application date: 08.08.2025). – Header from the screen.

14. Campbell H. GIS for Urban and Regional Planning [Electronic resource] / H. Campbell, R. Marshall. – Electronic text data. – London : Routledge, 2014. – 208 p. – ISBN 978-0415634917. – Regime of access: <https://core.ac.uk/download/pdf/7005171.pdf>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.

15. Мамонов К. А. ГІС-забезпечення при раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін // Науковий вісник будівництва. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Т. 86, № 4. – С. 283–286. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2016_86_4_64, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

16. Tomlin C. D. Geographic Information Systems and Cartographic Modelling [Electronic resource] / C. D. Tomlin. – Electronic text data. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1990. – 350 p. – ISBN 978-0133509271. – Regime of access: <https://archive.org/details/geographicinform00toml/page/n13/mode/2up>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.

17. Карпенко О. В. Методика оцінки порталів послуг органів державного управління [Електрон. ресурс] / О. В. Карпенко // Науковий вісник Академії муніципального управління. – Електрон. текст. дані. – 2013. – Вип. 3. – С. 136–145. – (Серія : Управління) – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvamu_upravl_2013_3_20, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

18. Мамонов К. А. Основи земельного адміністрування: технічні аспекти [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 104 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/58967/>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

19. Геоінформаційні системи в міському господарстві : монографія / За ред. І. І. Братченка. – Одеса : ВМВ, 2021. – 320 с.

20. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. – Чинний від 2008–07–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 112 с.
21. Open Geospatial Consortium (OGC). GeoBIM Benchmark Report [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://www.ogc.org/resources/free-publications/>, вільний (дата звернення: 01.09.2025).
22. Goodchild M. F. GIS and Modeling [Electronic resource] / M. F. Goodchild // Environmental Modelling & Software. – Electronic text data. – 2020. – Vol. 134. – Article 104793. – Regime of access: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104793>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.
23. Гринь М. П. Геоінформаційне моделювання урбанізованого середовища [Електрон. ресурс] / М. П. Гринь, Н. Ю. Боярчук // Вісник геодезії та картографії. – Електрон. текст. дані. – 2022. – № 1. – С. 41–48. – Режим доступу: <https://visnyk.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/118>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.
24. Singhal A. Integration of BIM and GIS: The Development of CityGML Extensions for 3D City Models [Electronic resource] / A. Singhal, S. Zlatanova, V. Coors // Advances in 3D Geoinformation. – Electronic text data. – Cham : Springer, 2020. – С. 211–228. – Regime of access: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57968-8_12, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.
25. Esri. 3D GIS and Smart City Planning [Electronic resource]. – Electronic text data. – 2022. – Regime of access: <https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/3d-gis-smart-cities/>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.

26. Autodesk. BIM and GIS Integration: A Strategic Guide [Electronic resource]. – Electronic text data. – 2023. – Regime of access: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/aec/gis-bim-integration-whitepaper.pdf>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.

27. Інформаційне моделювання будівель : посібник з BIM для фахівців у сфері проектування, будівництва та експлуатації [Електрон. ресурс] / Ч. Істмен, П. Тейхольц, Р. Сакс, К. Лістон. – Електрон. текст. дані. – 3-є вид. – Київ : Ліра-К, 2022. – 612 с. – Режим доступу: <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook%2C+3rd+Edition-p-9781119287537>, вільний (дата звернення: 01.09.2025). – Назва з екрана.

28. Biljecki F. Applications of 3D City Models: State of the Art Review [Electronic resource] / F. Biljecki, H. Ledoux, J. Stoter // ISPRS International Journal of Geo-Information. – Electronic text data. – 2021. – Vol. 10, № 8. – Article 481. – Regime of access: <https://doi.org/10.3390/ijgi10080481>, free (application date: 01.09.2025). – Header from the screen.

Електронне навчальне видання

НЕСТЕРЕНКО Сергій Григорович,
АФАНАСЬЄВ Олександр Валерійович

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *О. В. Афанасьєв*

План 2025, поз. 30Л

Підп. до друку 22.09.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 6,6.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.