

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

А. А. Євдокімов

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми
навчання зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Євдокімов А. А. Геоінформаційні технології : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності G18 – Геоземлезнавство та землеустрої / А. А. Євдокімов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 88 с.

Автор

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

Рецензент

К. А. Мамонов, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 25.08.2025

© А. А. Євдокімов, 2026

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.....	10
Тема 1 Вступ до ГІС-технологій.....	10
1.1 Загальна характеристика ГІС. Поняття ГІС-технологій.....	10
1.2 Класифікація ГІС.....	12
1.3 Функціональні можливості ГІС.....	15
Тема 2 Склад ГІС.....	16
2.1 Апаратний блок	16
2.2 Програмний блок	22
2.3 Блок даних.....	25
Тема 3 Моделі просторових даних. Види та особливості просторових даних.....	27
3.1 Растрова модель просторових даних у ГІС.....	27
3.2 Векторні моделі просторових даних у ГІС.....	32
3.3 Взаємні перетворення векторних і растрових зображень.....	38
3.4 Переваги і недоліки растрових і векторних структур даних.....	39
3.5 TIN-моделі подання поверхні.....	41
3.6 3D-моделі в ГІС.....	45
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕМЕНТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ.....	48
Тема 4 Планування ГІС-проєкту.....	48
4.1 Етапи і правила проєктування ГІС.....	49
4.2 Розробка програмної оболонки ГІС.....	51
4.3 Технічне проєктування ГІС.....	53
Тема 5 Збір, обробка та організація даних у гіс.....	55
5.1 Збір даних у ГІС.....	55
5.2 Обробка і організація даних у ГІС.....	58

Тема 6 Аналітичні операції в ГІС.....	62
6.1 Аналіз просторових даних у ГІС.....	62
6.2 Основні функції просторового аналізу даних.....	64
6.3 Картометричні операції.....	67
6.4 Просторово-часова статистика.....	70
6.5 Оверлейний аналіз.....	71
РОЗДІЛ 3 ВИРІШЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ЗАДАЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	75
Тема 7 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографо-геодезичних даних у програмному забезпеченні «DIGITALS».....	75
7.1 Можливості використання програми «Digitals» для обробки результатів топографо-геодезичних вимірювань.....	75
7.2 Основи використання модуля «Geodesy». Інтерфейс програми «Digitals».....	77
Тема 8 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографо-геодезичних даних у програмному продукті «AutoCAD».....	78
8.1 Складання топографічного плану в програмному продукті «AutoCAD».....	78
8.2 Створення плану у масштабі 1 : 500.....	79
8.3 Побудова графічного подання профілів.....	80
8.4 Конвертування файлів *.dwg, отриманих у програмному продукті «AutoCAD» у *.shp «ArcGIS Pro».....	80
Тема 9 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографо-геодезичних даних у програмному продукті «ArcGIS Pro».....	81
9.1 Геодезичні дані в базі геоданих.....	81
9.2 Проєкт геодезичної зйомки. Моделювання точок зйомки і координат.	82

9.3 Моделювання обчислень. Моделювання вимірювань.	
Моделювання взаємозалежності об'єктів зйомки.....	83
9.4 Обчислення за методом найменших квадратів – огляд. Точки зйомки, вимірювання і просторова прив'язка.....	83
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГІС	– геоінформаційна система
ІТ	– інформаційні технології
ТМГП	– тривимірна модель геоінформаційного простору
САПР	– система автоматизованого проєктування
ЕК	– електронна карта
ЦК	– цифрова карта
ЦКР	– цифрова карта рельєфу
ЦКМ	– цифрова карта місцевості
СОА	– сервіс-орієнтована архітектура
МГІС	– муніципальна ГІС
НІГД	– національна інфраструктура геопросторових даних
GPS	– Global Positioning System

ВСТУП

До Вашої уваги подано конспект лекцій із навчальної дисципліни «Геоінформаційні технології». Цей конспект призначено для студентів, аспірантів, а також може бути корисний для спеціалістів у сфері геоінформатики, а також ГІС-аналітиків, менеджерів та керівників підрозділів різних рівнів.

Навчальна дисципліна «Геоінформаційні технології» належить до групи нормативних дисциплін циклу професійної підготовки студентів для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій.

Геоінформаційні технології – це важливий галузевий розділ інформаційних технологій, що зосереджений на зборі, обробці, аналізі та візуалізації географічної інформації. Цей предмет виникає від поєднання географії та комп'ютерних наук, і його вивчення є важливим для розуміння та використання просторової інформації у різних сферах людської діяльності.

Сфери застосування геоінформаційних технологій:

- ефективна робота з просторовою інформацією (геоінформаційні технології надають засоби для організації та роботи з географічними даними, що полегшує їхнє зберігання, пошук та аналіз);
- підтримка ухвалення рішень (геоінформаційні технології використовуються для аналізу просторових взаємозв'язків у різних галузях, таких як урбаністика, екологія, транспорт, аграрний сектор тощо; це допомагає ухвалювати обґрунтовані та ефективні рішення);
- створення карт і візуалізація даних (геоінформаційні технології дозволяють створювати картографічні продукти, які відображають різні аспекти географічної інформації, що є важливим для візуалізації та розуміння);

- розвиток інновацій (вивчення геоінформаційних технологій відкриває можливості для розробки новаторських рішень в області геопросторового аналізу та планування).

Напрями вивчення геоінформаційних технологій:

- географічні інформаційні системи (ГІС) – основний інструмент для збору, зберігання, обробки та аналізу географічних даних;
- дистанційне зондування – вивчення методів збору географічних даних за допомогою супутників та аерознімків;
- геопросторові бази даних (робота з базами даних, що містять географічну інформацію);
- картографія та візуалізація – вивчення принципів створення карт і графічного представлення географічної інформації;
- аналіз просторових даних – використання статистичних та математичних методів для виявлення закономірностей у географічних даних.

Вивчення геоінформаційних технологій дозволяє студентам не лише розширити свої знання у сфері обробки географічної інформації, але і використовувати ці навички в різних сферах своєї подальшої професійної діяльності.

Метою вивчення дисципліни «Геоінформаційні технології» є придбання студентами поглиблених знань про використання сучасних геоінформаційних технологій у сфері містобудування, дати уявлення про призначення, склад та функції геоінформаційних технологій, передати знання про потреби до апаратного та програмного забезпечення ГІС, про моделювання об'єктів реального світу за допомогою векторних, растрових, TIN-моделей, геореференцію просторових даних, організацію геопросторових даних – геореляційні та об'єктно-орієнтовані структури даних, початки ГІС-аналізу – просторовий аналіз та аналіз мережі, прикладання ГІС для предметної області.

Завдання навчальної дисципліни надати студенту знання про сучасні методи збору, зберігання, обробки, відображення та аналізу просторово розподіленої інформації у предметній галузі.

Конспект лекцій вміщує основні поняття геоінформаційних технологій, надає загальну характеристику програмного та інструментального забезпечення. Конспект надає поняття про моделювання в геоінформаційних системах, а також зосереджує увагу на аспектах застосування і перспективах розвитку геоінформаційних систем.

Також вивчення дисципліни передбачає отримання студентами навичок застосування спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення питань територіального управління, вирішення задачі транспортної доступності, автоматичної побудови тривимірних об'єктів, побудови зон транспортної доступності, розрахунку площ за обраними ділянками цифрової або електронної карти, проводити аналіз результатів моделювання тощо.

За структурою матеріал розділений на три розділи, які відповідають змістовим модулям із навчальної дисципліни «Геоінформаційні технології».

У першому розділі розглядаються основні аспекти технології геоінформаційної обробки просторових даних, питання заповнення ГІС-проекту вихідними даними. Наведені організаційно-технологічні підходи до наповнення ГІС-проекту вихідними даними, отриманими з різних джерел.

У другому розглядаються питання ГІС-аналізу як складові традиційних підходів до управління та планування проектами, створення великомасштабних систем з урахуванням особливостей створення та функціонування ГІС.

У третьому розділі розглянуті загальні поняття технології обробки та інтеграції топографо-геодезичних даних у ГІС. Розглядаються основні програмні засоби щодо вирішення прикладних задач управління просторовими даними. Наведені загальні поняття технології обробки та інтеграції топографо-геодезичних даних у ГІС.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Тема 1 Вступ до ГІС-технологій

План

- 1.1 Загальна характеристика ГІС.
- 1.2 Поняття «технологія».
- 1.3 Класифікація ГІС.
- 1.4 Функціональні можливості ГІС.

1.1 Загальна характеристика ГІС. Поняття ГІС-технологій

Відомими фахівцями у сфері ГІС опубліковано кілька десятків визначень ГІС, які в сукупності визначають характеристики ГІС. Ось деякі з них.

За Майклом Демерсом: «Геоінформаційні системи – це інструменти для обробки просторової інформації, зазвичай явно прив'язаної до деякої частини земної поверхні і використовуються для управління нею. Як і у випадку з географією, термін географічна інформаційна система (ГІС) важко визначається. Він містить інтеграцію багатьох предметних областей. Тому немає загальноприйнятого визначення ГІС».

За Майклом Гудвичем існують дві окремі думки щодо питання «що таке ГІС?»:

– ГІС – це реальний додаток, що містить апаратне забезпечення, дані, програмне забезпечення та людей, необхідних для вирішення проблем (ГІС-додаток);

– ГІС – це тип програмного забезпечення, що продається розробниками програмного забезпечення.

Ми будемо фокусувати на першому визначенні.

Ці та низка інших відомих визначень дозволяють синтезувати визначення, яке відповідає найбільш поширеному розумінню цієї області:

ГІС – це система, яка:

- по-перше, є комплексом взаємодіючих п'яти компонентів, що складається з комп'ютерних засобів, програмного забезпечення, географічних даних, регламенту і користувачів;

- по-друге, виконує функції введення, інтегрування, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації (бази даних (Databases) – це структурований набір даних про певні характеристики фізичних чи віртуальних систем).

Бази даних ГІС можуть бути як внутрішніми (інтегрованими у спеціалізовані геоінформаційні програмні пакети, які безпосередньо працюють з електронними картами), так і зовнішніми (в інших програмних пакетах та форматах). Інформацію внутрішніх баз даних зазвичай називають атрибутами або атрибутивною інформацією. Просторову інформацію електронних карт (координати усіх об'єктів, їхні типи та умовні позначення, іноді – ще й правила топології – правила відображення відносно інших об'єктів) зазвичай називають просторовими даними.

Отже, електронні карти ГІС містять просторову та атрибутивну інформацію. Практично будь-які сучасні ГІС містять і внутрішні бази даних, і зовнішні, оскільки зовнішні бази даних легше оновлювати та супроводжувати, ніж внутрішні. Найчастіше екологічні установи оновлюють дані моніторингу та характеристики, які не є просторовими даними, а, отже, ці дані легше долучати до пакета програм, призначений для роботи з базами даних, а не з ГІС.

Технологія (від грец. «τέχνη» – «мистецтво», «майстерність», «вміння» та «λόγος» – «думка», «причина»; «методика», «спосіб» «виробництва») – сукупність методів, процесів і матеріалів, використовуваних у будь-якій галузі діяльності, а також науковий опис способів технічного виробництва.

Геоінформаційні технології (ГІС-технології), (GIS-technology) – технологічна основа створення географічних інформаційних систем, які дозволяють реалізувати функціональні можливості ГІС.

ГІС-технологія – це технологія, яка може застосовуватися за наявності чотирьох складових, а саме: людей, картографічного забезпечення, інформаційного забезпечення та програмного забезпечення. Жодна із чотирьох складових не може бути відсутня. Фактично, маємо формулу: ГІС = люди + карти + інформація (бази даних) + програми. З іншого боку, для застосування ГІС-технології потрібні не тільки названі вище складові, а ще й апаратне, нормативно-правове, організаційне забезпечення тощо.

1.2 Класифікація ГІС

Класифікація ГІС можлива за кількома підставами:

- просторовим охопленням;
- об'єктом і предметною областю інформаційного моделювання;
- проблемною орієнтацією;
- рівнем управління;
- програмними цілями;
- моделями даних;
- архітектурними принципами;
- функціональними можливостями тощо.

За просторового охоплення розрізняють:

- глобальні, або планетарні ГІС;
- субконтинентальні;
- національні (часто мають статус державних);
- міжнаціональні;
- регіональні;
- субрегіональні;
- локальні.

ГІС здатна моделювати об'єкти і процеси, що відбуваються не тільки на суші (території), але і в акваторіях морів, океанів і внутрішніх водойм (акваторіях). Наприклад, ГІС Чорного моря (МДУ), ГІС для моніторингу глибоководного газопроводу «Блакитний потік», карти морської навігації.

Менш відомі системи, що описують повітряний простір (аероторію): авіанавігаційні системи, системи планування і виконання аерознімання.

Існують ГІС для управління польотами в космічному просторі.

За об'єктами інформаційного моделювання ГІС діляться на:

- феномени реальності (ліс, земля, вода, населення, господарство);
- процеси (повені, забруднення навколишнього середовища, міграційні процеси);

- нематеріальні об'єкти або ідеї.

Класифікація за проблемною орієнтацією:

- інженерно-технічні (проектування споруд);
- майнові для обробки кадастрових даних (облік земельної власності);
- узагальнені тематичні та статистичні системи картографування для управління природними ресурсами;
- бібліографічні, що містять каталогізовану інформацію про безліч географічних документів;
- географічні бази даних, що містять інформацію про географічні об'єкти;
- системи цифрової обробки даних дистанційного зондування (ДДЗ) Землі;

- інтерактивні системи навчання в галузі наук про Землю.

Класифікація за рівнем управління:

- федеральні;
- регіональні;
- спеціальні – використовувані для інформаційних потреб конкретних галузей народного господарства.

Класифікація за програмними цілями:

- багатоцільові (загальногеографічні, моніторинг навколишнього середовища);
- тематичні (водних ресурсів, лісокористування, землекористування тощо);
- спеціалізовані (інформаційно-довідкові системи за галузями).

Програмні засоби ГІС можна розрізнати і класифікувати за низкою параметрів.

Класифікація за типом (моделі) даних:

- векторні;
- растрові;
- гібридні або інтегральні.

Класифікація за архітектурним принципом:

- закриті;
- відкриті.

Закриті системи дозволяють виконувати тільки ті операції з даними, на які вони налаштовані під час покупки. У разі незначної зміни вирішуваної задачі такі системи часто виявляються нездатними їх вирішувати. У більшості випадків закриті системи взагалі неможливо змінити, тому вони мають низькі ціни і короткий життєвий цикл.

Відкриті системи мають на увазі відкритість для користувача, такі системи мають спеціальні засоби, зазвичай мови програмування, призначені для створення додаткових додатків, тобто потрібних користувачеві функцій обробки даних. Можливість розширення відкритих систем дозволяє використовувати їх і під час розвитку вирішуваних завдань в майбутньому. Ці системи зазвичай дорогі, але мають великий життєвий цикл.

За функціональним можливостям ГІС можна розділити на три групи:

- інструментальні або повнофункціональні – потужні універсальні мережеві системи, такі як ArcInfo і ERDAS;

- настільні, або системи кінцевого користувача: до цієї групи належать MapInfo, ГІС-карта, ArcGIS, AutoCAD Map;
- вузькоспеціалізовані інформаційні системи.

1.3 Функціональні можливості ГІС

Функціональні можливості ГІС охоплюють повний цикл роботи з просторовими даними: впровадження, редагування, зберігання, аналіз та візуалізацію. Вони дозволяють об'єднувати карти з табличною інформацією для моделювання рельєфу, проведення просторових запитів, вимірювань, керування земельними ресурсами, планування міст та аналізу динаміки змін.

Основні джерела даних для ГІС містять польові дослідження, GPS-вимірювання, дані дистанційного зондування Землі (аеро- та супутникові знімки), а також статистичні та картографічні матеріали.

Функціональні можливості ГІС визначають основні напрямки їх практичного використання:

- створення і ведення банків даних (інформаційно-довідковий напрям);
- автоматизоване картографування;
- просторовий аналіз природних, природно-господарчих і соціально-економічних територіальних систем;
- моделювання природних, природно-господарчих і соціально-економічних процесів;
- підтримка ухвалення рішень у плануванні, проєктуванні й управлінні.

Перший, другий і, почасти, третій напрямки є традиційними (якщо так можна говорити про нову технологію) напрямками практичного використання ГІС, останні два відображають сучасну тенденцію в додатках ГІС-технології, яка полягає в розробці просторово-розподілених систем підтримки ухвалення рішень.

Тема 2 Склад ГІС

План

2.1 Апаратний блок

2.2 Програмний блок

2.3 Блок даних

2.1 Апаратний блок

Апаратний блок Геоінформаційної Системи (ГІС) є важливою складовою, яка забезпечує фізичне втілення та функціонування всіх елементів системи. Цей блок містить різноманітні технічні компоненти, спрямовані на обробку та зберігання географічних даних, а також забезпечення ефективної роботи ГІС. Основні компоненти апаратного блоку ГІС містять:

1. Сервери та робочі станції:

- сервери – централізовані обчислювальні системи, що використовуються для зберігання та обробки великих обсягів географічних даних, а також для надання доступу до них користувачам;

- робочі станції – комп'ютери, які використовуються користувачами для роботи з ГІС, вони оснащені необхідним програмним та апаратним забезпеченням для виконання завдань геоінформаційної системи.

2. Сховища даних: великі обсяги даних ГІС зберігаються на дискових масивах та сховищах, що забезпечує швидкий доступ та надійну збереженість інформації.

3. Геопроцесори – спеціалізовані обчислювальні пристрої, які оптимізують виконання геоаналітичних операцій та обробку географічних даних.

4. Супутникові та аерофотозвіти:

- супутникові системи – пристрої для отримання супутникових знімків та даних, що використовуються для дистанційного зондування та оновлення географічних даних;
- аерофотозвіти – системи для використання аерофотознімків та виробництва точних географічних карт.

5. Мережеве обладнання:

- мережеві сервери та комутатори забезпечують взаємодію різних компонентів системи та забезпечують доступ користувачів до географічних даних через мережу.

6. Геодезичне та навігаційне обладнання:

- геодезичні пристрої використовуються для вимірювання точних географічних координат та характеристик місцевості;
- навігаційні системи забезпечують визначення місцезнаходження та шляху руху об'єктів на карті.

Апаратний блок ГІС відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та продуктивності геоінформаційної системи, дозволяючи використовувати та обробляти географічні дані в реальному часі.

Апаратне забезпечення містить:

- електронно-обчислювальну машину (комп'ютер) із досить великими (що обумовлюються в кожному конкретному випадку) обсягами оперативної і постійної пам'яті, а також швидкістю дії;
- набір периферійних пристроїв, які забезпечують введення / виведення інформації.

Ефективна робота сучасних пакетів ГІС і розроблюваних на їхній базі додатків можлива тільки за наявності потужної технічної підтримки. Технічні засоби ГІС повинні забезпечувати можливість зберігання великих масивів даних, якісно виводити картографічну й іншу інформацію на монітор або папір, залучати дані з різних джерел, швидко проводити пошук, сортування та обробку інформації. Для проведення цих операцій у програмних оболонках ГІС

передбачена можливість підключення та налаштування різних апаратних платформ і периферійних пристроїв.

Комп'ютери

За сферами застосування, можна дати таку класифікацію комп'ютерів:

1. Мейнфрейм.
2. Персональний комп'ютер.
3. Робоча станція.
4. Сервер.
5. Суперкомп'ютер.

Коротко охарактеризуємо наведені вище класи.

1. Мейнфрейм (від англ. «Mainframe») – великий універсальний високопродуктивний відмовостійкий сервер зі значними ресурсами введення / виведення, великим об'ємом оперативної і зовнішньої пам'яті, призначений для використання в критично важливих системах (від англ. «Mission-critical») з інтенсивною пакетною й оперативною транзакційною обробкою.

2. Персональний комп'ютер, ПК (від англ. «Personal computer», «PC»), ПЕОМ (персональна електронно-обчислювальна машина) – настільна мікроЕОМ, що має експлуатаційні характеристики побутового приладу і універсальні функціональні можливості.

3. Робоча станція (від англ. «Workstation») – комплекс апаратних і програмних засобів, призначених для вирішення певного кола завдань.

4. Сервер (від англ. «Server»; «to serve» – «служити») – апаратне забезпечення, виділене та/або спеціалізоване для виконання на ньому сервісного програмного забезпечення (зокрема серверів тих чи інших завдань). Сервером називається комп'ютер, виділений із групи персональних комп'ютерів (або робочих станцій) для виконання будь-якого сервісного завдання без безпосередньої участі людини.

5. Суперкомп'ютер (від англ. «Supercomputer», «суперЕОМ») – обчислювальна машина, значно перевершує за своїми технічними параметрами більшість існуючих комп'ютерів. Зазвичай сучасні суперкомп'ютери – це велика кількість високопродуктивних серверних комп'ютерів, з'єднаних один з одним локальною високошвидкісною магістраллю для досягнення максимальної продуктивності в рамках підходу розпаралелювання обчислювальної задачі.

Периферійні пристрої

Периферійний пристрій – апаратура, яка дозволяє використовувати обчислювальні можливості процесора.

Периферійні пристрої підрозділяються на:

- пристрої введення інформації;
- пристрої виведення інформації.

До пристроїв автоматичного і напіваавтоматичного введення просторової інформації належать сканери, які зчитують із заданим дозволом (зазвичай від 300 точок на дюйм, у кращих моделях – до 8000 точок на дюйм) все поле карти, або аерокосмознімки перетворюють його на графічний растровий файл. Однак для подальшого виділення просторових об'єктів із загального та цифрового зображення та їх ідентифікації в базі даних ГІС необхідне використання спеціальних програмних продуктів – векторизаторів за участі та контролю досвідченого оператора. Цей процес далеко не тривіальний. Сканери мають різні розміри робочого поля (від 12 «X 12» до 32 «X 32» на кілька метрів для рулонних моделей).

На підставі узагальненої оцінки характеристик сканерів ці пристрої можна розділити на такі підгрупи:

1. Ручні сканери.
2. Сторінкові (протяжні) сканери.
3. Планшетні сканери.

4. Слайд-сканери.

5. Барабанні сканери.

6. Лазерні 3D-сканери.

1. Ручні сканери. Скануюча голівка переміщається над сканованою поверхнею за допомогою руки людини. Зручні для знімання інформації в важкодоступних місцях (наприклад: розвороти старовинних книг, інформація на стінах тощо).

2. Протяжні сканери призначені для сканування аркушів паперу заданої ширини. Скануюча голівка переміщається тільки в одному напрямку, а протяжний механізм забезпечує послідовне зміщення паперу щодо скануючої головки уздовж іншого виміру. Такі пристрої більш компактні за планшетні сканери і дозволяють сканувати більш протяжні в одному вимірі матеріали.

3. Планшетні сканери – переважний на сьогодні тип сканерів. Під склом одного зі стандартних розмірів (найчастіше А4, рідше – А3) знаходиться скануюча голівка, що послідовно проходить всю площу під склом в процесі сканування.

4. Слайд-сканери схожі на планшетні, але призначені спеціально для сканування фотоплівки.

5. Барабанні сканери належать до класу high-end. Сканований об'єкт (найчастіше фотоплівка) спочатку вимочується в спеціальному розчині, а потім поміщається на барабан, який обертається в одному напрямку фотоелектронним помножувачем. Ці пристрої набагато більш чутливі, ніж ПЗС-матриці, тому і роздільна здатність у них значно вища. Такі сканери мають порівняно великі габарити.

6. Лазерні 3D-сканери – пристрої, що аналізують фізичний об'єкт і на основі отриманих даних створюють його 3D-модель. Сьогодні лазерне сканування – важлива і найперспективніша частина інженерної геодезії в галузі архітектури, будівництва та історико-культурної спадщини, а також електронної картографії та ГІС. Сканер за допомогою лазерного далекоміра обчислює відстань до об'єкта і вимірює вертикальний і горизонтальні кути,

отримуючи XYZ-координати. Кількість операцій за одиницю часу величезна – до 1 млн точок в секунду. На підставі зйомки формується так звана «хмара точок», після обробки якої створюється тривимірна модель об'єкта сканування. На цьому етапі ці сканери є найбільш потужними, продуктивними і дорогими геодезичними приладами в світі.

Також до пристроїв введення інформації зараз належать деякі інші електронні геодезичні прилади, наприклад, тахеометри, а також GPS- та GNSS-приймачі.

Електронний тахеометр – багатофункціональний геодезичний прилад, що поєднує в собі теодоліт, лазерний далекомір і комп'ютер, призначений для вирішення безлічі будівельних і геодезичних задач.

Супутникова система навігації (Global Navigation Satellite System – GNSS) – це комплексна електронно-технічна система, що складається із сукупності наземного і космічного устаткування, призначена для визначення місця розташування (географічних координат і висоти).

Пристрої виведення і подання інформації

Пристрої виведення – периферійні пристрої, що перетворюють результати обробки цифрових машинних кодів на форму, зручну для сприйняття людиною або придатну для впливу на виконавчі органи об'єкта управління.

До пристроїв виведення інформації належать:

- монітори;
- принтери;
- 3D touch table (сенсорний стіл).

Управління ГІС та подання інформації в різному вигляді проводиться насамперед за допомогою монітора. Однак останнім часом монітор прийнято вважати частиною комп'ютера.

За способом формування зображення на папері або іншому «твердому» носії пристрої виведення діляться на кілька типів:

1. Матричні принтери переносять зображення на папір за допомогою ударів голок знакогенеруючої голівки по стрічці з барвником.

2. Струменеві (чорнильні) принтери формують зображення на папері або плівці методом «вистрілювання» крапельок чорних або кольорових чорнил у зазначені позиції.

3. Лазерні принтери формують зображення на світлочутливому барабані, який під час обертання захоплює порошкоподібний тонер з допомогою електростатичного заряду і переносить його на папір.

4. Плотири (графобудувачі) будують зображення на папері шляхом переміщення по поверхні малювального елемента – фломастера, пера або рапідोगрафа.

5. Сублімаційний принтер (термосублімаційний принтер) – принтер, що друкує зображення на поверхнях шляхом внесення твердотілого (зазвичай кристалічного) барвника під поверхню паперу.

6. 3D-принтери – пристрій, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D-моделлю.

7. 3D touch table (сенсорний стіл) – новітній пристрій виведення інформації, великий стіл із вбудованою сенсорною панеллю, на яку здійснюється виведення інформації. Особливо цікавий сенсорний стіл, створений американською компанією ESRI. Він не тільки дозволяє побачити тривимірне зображення, але й дозволяє його торкнутися – виводить реальне тверде об'ємне зображення поверхні.

2.2 Програмний блок

Програмний блок – це сукупність взаємопов'язаних (інтегрованих) програмних модулів, що забезпечують виконання основних функцій ПС із дотриманням певного стандарту призначеного для користувача інтерфейсу.

Принципи структурування програмного комплексу, перелік операцій у групах і навіть групи, так само як і стандарт інтерфейсу користувача для різних ГІС, може істотно змінюватися, визначаючись ступенем універсальності ГІС, вимогами до її функціональних можливостей і досконалості призначеного для користувача інтерфейсу, фінансовими можливостями тощо. Досить часто в літературі під ГІС розуміється саме програмне забезпечення (зокрема й у вигляді так званих, комерційних ГІС-пакетів), що дозволяє реалізовувати сучасну геоінформаційну технологію для створення конкретних географічних інформаційних систем, що, безумовно, є некоректним. До програмного забезпечення ГІС (GIS software) повинні застосовуватися терміни «програмний ГІС-пакет» (або коротше – ГІС-пакет) або його офіційна назва, наприклад, «растровий пакет географічного аналізу і обробки зображень IDRISI» або «модульне ГІС-середовище фірми ІНТЕРГРАФ (MG / INTERGRAPH)».

Загальна характеристика

Під час класифікації програмного забезпечення за способом поширення можна виділити такі категорії:

1. Commercial Software – комерційне (з обмеженими ліцензією можливостями на використання), що розробляється для отримання прибутку.
2. Freeware – вільне ПЗ, яке розповсюджується без обмежень на використання, модифікацію і поширення.
3. Shareware – умовно-безкоштовне ПЗ, із частковими обмеженнями під час роботи в ознайомчому режимі (наприклад, певну кількість запусків програми).
4. Abandonware – «занедбане» ПЗ, підтримка якого безпосереднім розробником припинена, але триває третіми особами (наприклад, партнерами або ентузіастами).
5. Adware – ПЗ, в код якого входять рекламні матеріали. Таке ПЗ поширюється безкоштовно, але для відключення рекламних блоків необхідна оплата.

6. Careware – «благодійне» ПЗ, оплату за яке розробник (або розповсюджувач) просить переводити на благодійні потреби.

Програмні засоби ГІС – це сукупність більшою чи меншою мірою інтегрованих програмних модулів, що забезпечують реалізацію основних функцій ГІС.

У загальному випадку можна виділити шість базових модулів:

- введення і верифікації даних;
- зберігання та маніпулювання даними;
- перетворення систем координат і трансформації картографічних проєкцій;
- аналізу і моделювання;
- виведення і подання даних;
- взаємодії з користувачем.

Інтерфейс користувача

Раніше інтерфейс користувача ділився на дружній і недружній. Із розвитком комп'ютерних технологій такий поділ зійшов нанівець.

Є кілька типів інтерфейсів користувача:

1. Інтерфейс командного рядка. Команда, яку користувач набирає в командному рядку, наприклад, C>. Користувач повинен стежити за певним синтаксисом команд, використовуючи точний запис і правила пунктуації.

2. Віконний інтерфейс. Сучасні складні системи використовують кілька екранних вікон для окремого виведення текстових і графічних даних. Вікна дозволяють одночасно виводити на екран кілька видів однієї карти, наприклад, у повному охопленні й у збільшеному зображенні.

3. Графічний інтерфейс користувача. Ця форма меню використовує символічні зображення для доступності сенсу команд і спрощення управління. Користувач керує системою, використовуючи піктограми для виконання функцій, які найбільш часто зустрічаються, а також звичайне меню для інших.

4. Вебінтерфейс – це сукупність коштів, за допомогою яких користувач взаємодіє з вебсайтом або будь-яким іншим додатком через браузер. Вебінтерфейси набули широкого поширення в зв'язку зі зростанням популярності всесвітньої павутини і відповідно – широким розповсюдженням веббраузерів.

5. Національна мова інтерфейсу. Очевидні переваги використання національної мови в системах меню й інтерактивної допомоги проявляються негайно. Різко зростає як швидкість освоєння системи, так і повнота використання її функціональних можливостей. Більшість виробників програмного забезпечення ГІС на сьогодні просувають на іншомовні національні ринки (стандарт – англійська мова) «адаптовані» версії своїх продуктів.

Багато оболонок ГІС поєднують кілька підходів до організації середовища управління системою, створюючи комбінований інтерфейс. Іноді додатково використовується і командний рядок, причому розпізнавання багатьох команд проводяться за їх скороченою увагою (перші два-три символи).

Розвиток апаратного забезпечення визначає і розвиток інших типів інтерфейсу. Сенсорні дисплеї дозволять користувачеві вибирати об'єкт або віддавати команди простим дотиком пальця або спеціального покажчика до певної ділянки екрану. Для деяких типів прикладних ГІС, що працюють із великомасштабними моделями рельєфу, можливе впровадження технології «віртуальної реальності» під час моделювання земної поверхні та її просторових об'єктів: будівель, дерев тощо.

2.3 Блок даних

Блок даних у геоінформаційних системах (ГІС) – це логічно та структурно організована сукупність просторових і атрибутивних даних, об'єднаних за певною ознакою або тематикою, що використовується для

зберігання, обробки та аналізу геопросторової інформації. Такий блок може містити як геометричну складову (координати об'єктів – точки, лінії, полігони), так і описову інформацію про них у вигляді атрибутивних таблиць.

У структурі ГІС блоки даних формуються відповідно до типу та призначення інформації. Наприклад, окремі блоки можуть уособлювати транспортну мережу, земельні ділянки, будівлі, інженерні комунікації або природні об'єкти. Кожен блок має власну структуру, систему координат, набір атрибутів і правила відображення. Така організація дозволяє ефективно керувати великими обсягами просторових даних, забезпечує їхню цілісність і спрощує процес аналізу.

Блоки даних можуть зберігатися у різних форматах, зокрема у вигляді шейп-файлів, геобаз даних або растрових наборів. Вони можуть бути взаємопов'язані між собою через просторові або атрибутивні зв'язки, що дає можливість виконувати комплексні запити та аналіз, наприклад, визначення взаємного розташування об'єктів або оцінку їхніх характеристик.

Важливою особливістю блоку даних є його придатність до інтеграції з іншими інформаційними системами, зокрема з системами автоматизованого проектування, такими як AutoCAD. Це забезпечує безперервність обробки геопросторової інформації – від етапу створення до аналітичного використання у ГІС-середовищі. Таким чином, блоки даних є базовими елементами організації інформації в ГІС і відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи з просторовими даними.

Функції блоку даних:

- зберігання – організація даних у вигляді шарів (геобаз даних);
- управління – забезпечення доступу, редагування та оновлення інформації;
- аналіз – виконання запитів, просторове моделювання та обчислення (наприклад, буферні зони, накладання).

Тема 3 Моделі просторових даних. Види та особливості просторових даних

План

- 3.1 Растрова модель просторових даних у ГІС.
- 3.2 Векторні моделі.
- 3.3 Взаємні перетворення векторних і растрових зображень.
- 3.4 Переваги і недоліки растрових і векторних структур даних.
- 3.5 TIN-моделі подання поверхні.
- 3.6 3D-моделі у ГІС.

У ГІС географічні об'єкти можуть бути подані такими поширеними комп'ютерними моделями:

- векторні моделі – це моделі географічних об'єктів на основі подання векторів сукупностями координатних пар;
- растрові моделі – це моделі географічних об'єктів у вигляді сукупності осередків регулярної сітки або растра;
- триангуляційні моделі – це моделі географічних об'єктів у вигляді мережі суміжних трикутників.

3.1 Растрова модель просторових даних у ГІС

Растрова модель географічних даних (raster geographic data model) – спосіб подання географічних даних у базі даних ГІС у вигляді рівномірної поруватої структури, яка формує прямокутну матрицю, в якій кожен елемент набуває певного значення, властивого реальному просторовому об'єкту.

Растри. Основні поняття

Растровий спосіб формалізації метричних даних має два різновиди – регулярних мереж (regular grid) і власне растровий (raster). Вони однак

принципово не відрізняються один від одного, оскільки обидва засновані на формалізації просторової інформації по осередках регулярної мережі, яка суцільно вкриває територію. У кожному осередку цієї мережі інформація відображається одним числом.

Під методом регулярних мереж зазвичай розуміють ручний спосіб оцифрування просторових даних шляхом осереднення значень цифрованого елемента в кожному квадраті сітки – середнього значення висоти земної поверхні, протяжності гідрографічної мережі, переважного різновиду ґрунтового покриття тощо, який історично передував появі автоматичних методів растрезації просторової інформації, але застосовується дотепер. На сьогодні доцільно розглядати метод регулярних мереж в якості способу кодування просторової інформації в рамках растрової моделі даних.

Регулярна мережа (regular grid) – це спосіб організації географічних даних у базі даних ГІС у вигляді безлічі рівних за розмірами і територіально пов'язаних елементів осередків, упорядкованих у вигляді рядків і стовпців.

Растр (raster) – це засіб цифрового подання зображень у вигляді прямокутної матриці елементів зображення – пікселів, що утворюють основу растрового подання зображень або просторових об'єктів. Також це термін, що слугує для утворення похідних термінів, пов'язаних з растровими поданнями просторових об'єктів, растровими форматами (просторових) даних, а також термінів, які використовуються для позначення технічних пристроїв, растрових графічних пристроїв відображення: растровий дисплей, растровий плотер (графічний пристрій) тощо.

Якщо ж в якості мережі задають довільне розташування точок, або осередків із цифровими значеннями, то говорять про методи нерегулярних мереж.

Як приклад такої мережі може слугувати набір точкових даних, кожен із яких характеризується наданим йому значенням, отриманим, наприклад, під час картографічного знімання.

Растровий спосіб формалізації просторових даних, або растрова модель просторових даних, у найпростішому випадку полягає в зображенні просторових об'єктів у вигляді мозаїки, що суцільно вкриває територію, яка і називається растром. Кожен елемент растра називається осередком растра або пікселем (від англ. «pixel», що є скороченням від «picture element» – «елемент зображення»).

Найчастіше використовуються осередки квадратної форми, хоча досить широко в ГІС-технології застосовуються осередки трикутної і шестикутної форми (рис. 3.1).

Шестикутна мозаїка з осередками, поданими рівними правильними прямокутниками, приваблива тим, що всі сусідні осередки є еквідистантними, тобто відстань між центрами всіх сусідніх осередків постійна, чого не можна сказати про, наприклад, квадратні й, тим більше, прямокутні растри.

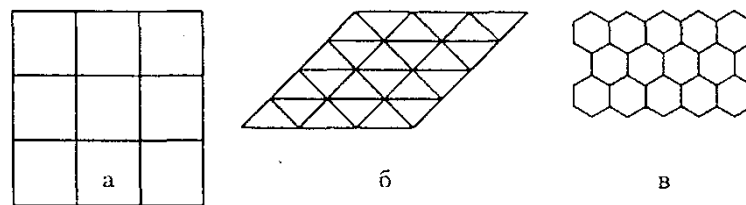


Рисунок 3.1 – Приклади растрів із різною формою осередків:

а – квадратної форми; б – трикутної форми; в – шестикутної форми

У растровій моделі просторова інформація кодується у вигляді прямокутної матриці (по рядках і стовпцях), розмір якої відповідає розміру вихідного растра. З огляду на це положення кожного елемента растра в просторі визначається номерами стовпця і рядка, в яких розташований заданий елемент.

Під час растеризації картографічних зображень стовпці зазвичай розташовують у напрямку «північ – південь», а рядки у напрямку «захід –

схід». В якості початкової комірки (з координатами (0; 0) або (1; 1)) найчастіше обирається осередок, розташований у верхньому лівому куті растра.

Шари растрової інформації для бази даних ГІС, як зазначено вище, можуть бути підготовлені вручну – шляхом кодування інформації для кожного осередку растра і подальшого введення у комп'ютер за допомогою текстового редактора або електронних таблиць.

Однак виконання такої роботи практично може бути здійснене лише в разі розміру растра в кілька десятків або сотень елементів, які не характерні для сучасних геоінформаційних систем.

Джерела растрових даних

Джерелами растрових даних є:

1. Фотозображення (Image):

- аерофотознімки території;
- космічні знімки території;
- фотографії об'єктів.

2. Креслення:

- топографічні карти;
- плани;
- технічні креслення;
- схеми;
- малюнки.

3. Тексти:

- документи;
- таблиці.

Джерела растрових даних набувають цифрового вигляду шляхом їх сканування.

Ієрархічні растрові структури

Растрові структури зручні для відображення ієрархічно організованої географічної інформації. Подання растрової інформації у вигляді кількох внутрішньо пов'язаних рівнів, за якого нижній рівень відповідає початковому поданню растра, що має розмір $N \times N$ елементів, а кожен вищий є узагальненням інформації в осередках нижчого рівня, має назву пірамідального (рис. 3.2).

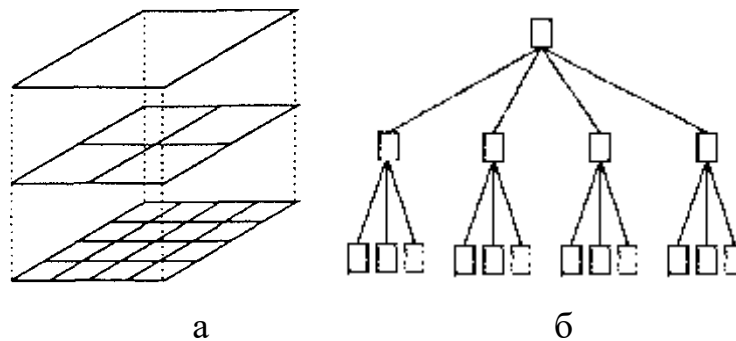


Рисунок 3.2 – Ієрархічні растрові структури даних: а – у вигляді піраміди;
б – у вигляді дерева

Стиснення інформації

Зменшення витрат машинної пам'яті для зберігання растрових даних досягається використанням алгоритмів стиснення. Одним з простих і досить ефективних методів стиснення растрових даних є групове кодування (run encoding), що використовує просторову автокорельованість даних, особливо чітко виражену на класифікованих картах. Наприклад, у межах цього ґрунтового контуру на ґрунтовій карті, ландшафтного контуру на ландшафтній карті тощо всі осередки растра мають одне і те ж значення, що відповідає, наприклад, номеру цього таксона в легенді відповідної карти.

Групове кодування полягає в кодуванні інформації, що міститься в кожному рядку вихідної матриці з допомогою пар значень, перше з яких подає

кількість наступних один за одним однакових значень кодованого елемента, друге – значення елемента.

Угоди, ухвалені для растрової ГІС

Підбиваючи підсумки, обговоримо основні угоди, обрані для растрової ГІС:

1. Дозвіл – мінімальна лінійна розмірність найменшої одиниці географічного простору, для якої можуть бути приведені будь-які дані. У растровій моделі даних найменшою одиницею для більшості систем є квадрат або прямокутник. Такі одиниці відомі як сітка, осередок або піксель. Безліч осередків утворює решітку, растр, матрицю.

2. Майданний контур (зона) – набір суміжних розташувань однакової властивості. Термін клас (або район) часто використовується щодо всіх самостійних зон, які мають однакові властивості. Основними компонентами зони є її значення і місце розташування.

3. Значення – одиниця інформації, що зберігається в шарі для кожного пікселя або осередка. Осередки однієї зони (або району) мають однакове значення.

4. Місцезнаходження – найменша одиниця географічного простору, для якого можуть бути наведені будь-які характеристики або властивості (піксель, осередок). Така частка картографічного плану однозначно ідентифікується впорядкованою парою координат – номерами рядка і стовпця.

3.2 Векторні моделі просторових даних у ГІС

Прості векторні моделі просторових даних у ГІС

Вектор (vector) – це:

- 1) величина, яка характеризується числовим значенням і напрямком;
- 2) спрямований сегмент;

3) термін, що слугує для утворення похідних термінів, пов'язаних із векторними уявленнями просторових даних, векторними форматами (просторових) даних, пристроями векторної машинної графіки (векторний дисплей).

У ГІС уявлення географічних об'єктів здійснюється з допомогою відображення їхньої геометричної форми на двовимірній площині з використанням елементарних графічних примітивів:

- точок (нуль-мірних векторів);
- ліній (поліліній, утворених плоскими двовимірними векторами);
- областей (форм, обмежених полігонами – замкненою послідовністю двовимірних векторів).

Географічні об'єкти, що подаються областями, називають полігональними об'єктами.

У ГІС для формування векторних моделей використовуються такі координати, які вказують на місце розташування географічних об'єктів у реальному земному просторі: географічні координати на сфероїді (широта, довгота) або декартові координати на площині (абсциса, ордината), отримані в певній картографічній проєкції.

Концептуально тут те, що географічні об'єкти в комп'ютері зберігаються як файли координатних пар, як набори цифр, тобто в цифровій формі. Табличні списки координатних пар є формою подання плоских цифрових файлів.

Створення векторних файлів можливо:

- шляхом введення координат із допомогою клавіатури;
- у результаті процесу векторизації, або дигіталізації (англ. «digit» – «цифра»), тобто трансформування аналогової інформації графічних об'єктів карти в цифровий вигляд.

Векторизатор (vectorizer) – програмний засіб для виконання растрово-векторного перетворення (векторизації) просторових даних. Векторизація (vectorization) – процедура (ручна або автоматизована) виділення

векторних об'єктів із растрового зображення і отримання їх у векторному форматі.

Основою векторного методу формалізації просторових даних є точка (point) – первинний графічний елемент із координатами x, y (табл. 3.1), числі місце розташування відоме з довільно заданою точністю. Дві точки з координатами $(x_1; y_1)$ і $(x_2; y_2)$ формують лінію (line) – відрізок прямої, що з'єднує ці точки, а замкнена послідовність ліній – полігон (polygon) (табл. 3.2).

Сукупність цих елементів цілком достатня для опису форми як лінійних, так і майданних картографічних об'єктів, які в цьому випадку кодуються як сукупність координат точок, що апроксимують форму лінійного об'єкта, наприклад, адміністративного кордону, русла річки тощо або контуру (межі) територіального об'єкта, наприклад, території землекористування, населеного пункту, басейну річки тощо (рис. 3.3). Цей спосіб векторного уявлення метричних даних, названий точковою полігональною структурою (point polygon structure), відповідає початковому періоду розвитку ГІС-технології.

Основний недолік цього способу полягає у браку топологічної інформації про взаємне розташування об'єктів, що змушує під час залучення метричних даних за допомогою дигітайзера проводити повний обхід кожного полігону. Це призводить до подвійного проходу по загальним для двох суміжних полігонів кордонам, що обумовлює значне збільшення витрат часу на введення.

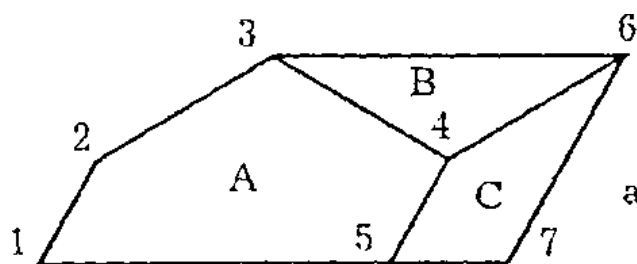


Рисунок 3.3 – Подання картографічних даних із використанням точкової полігональної структури: формалізація вихідної карти

Таблиця 3.1 – Координати опорних точок

Номери опорних точок	Координата x	Координата y
1	x ₁	y ₁
2	x ₂	y ₂
3	x ₃	y ₃
4	x ₄	y ₄
5	x ₅	y ₅
6	x ₆	y ₆
7	x ₇	y ₇

Таблиця 3.2 – Атрибути полігонів

Ідентифікатори полігонів	Номери опорних точок
A	1, 2, 3, 4, 5
B	4, 3, 6
C	5, 4, 6, 7

Найбільше поширені на сьогодні топологічні векторні структури, в яких, крім ідентифікаторів об'єктів і координат, кодується також інформація про взаємне розташування об'єктів.

Топологічні векторні моделі географічних об'єктів

Викладене уявлення географічних об'єктів простими векторними моделями у вигляді списків координатних пар дозволяє утворювати складні об'єкти у вигляді комбінації елементарних об'єктів – точок, ліній, полігонів. Однак уявлення суміжних полігонів простими векторними моделями стає неефективним тому, що сторони, загальні для двох суміжних полігонів, зберігаються двічі. Більш ефективний спосіб зберігання даних заснований на понятті «граф».

Граф – це безліч елементів, пов'язаних між собою відносинами. Геометрично граф подається у формі векторної схеми, що складається з вершин, вузлів, ребер, дуг:

– вершина (від англ. «Vertex») – це об'єкт графа; вершини подають точками;

- ребро (від англ. «Edge») – це лінія, яка пов’язує точки (об’єкти графа);
- дуга (від англ. «Arc») – це ребро з певною орієнтацією щодо її кінцевих вершин;
- вузол (від англ. «Node») – це вершина, загальна для двох і більшої кількості дуг; у вузлах сходяться дуги.

Наприкінці 60-х років була розроблена структура зберігання просторової інформації, названа за першими літерами слів Daul Independent Map Encoding – DIME-структурою. Основним елементом DIME-структури є сегмент (segment) – послідовність ліній, що починається і закінчується вузловими точками. Під вузловою точкою розуміється точка перетину трьох і більше ліній. У рамках цієї структури кожен сегмент кодується трьома компонентами: ідентифікатором (унікальним індексом) сегмента, номерами початкової (from) і кінцевої (to) вузлових точок сегмента і ідентифікаторами полігонів, що примикають до цього сегмента зліва (left polygon) і праворуч (right polygon).

Подальшим розвитком DIME-структур є векторні струменеві тури типу дуга-вузол (Arc-Node structure), які не потребують вказівок на сусідство. У цьому випадку опис метричного навантаження карти складається з трьох наборів даних:

- таблиці атрибутів полігонів;
- таблиць атрибутів дуг;
- набору пар координат (x, y), що подають геометрію дуг.

Долучення топологічних характеристик до структури растрових даних дозволило уникнути основного недоліку точкових растрових структур – необхідність подвійного обведення спільних кордонів і пов’язаних із цим похибок.

У DIME-структурах, а також у більшості сучасних систем векторної формалізації метричних даних використовуються лінійні сегменти, що є послідовностями, які примикають до відрізків прямих ліній. Теоретично за

необмеженого зменшення відстані між точками, що обмежують ці відрізки, може бути описана будь-яка крива. Однак на практиці це призводить до надмірного збільшення витрат ручної праці під час введення складних кривих. Розроблено різні методи апроксимації кривих дозволяють не вдаватися до надмірного зменшення кроку дигітизації під час введення навіть вельми складних кривих (грунтових кордонів).

Найчастіше для цієї мети використовуються аналітичні методи опису відрізків кривих як дуг кіл змінного радіуса, або із застосуванням сплайнів.

Специфічним методом опису кривих є восьмизв'язаний ланцюговий код Фрімана – набір із восьми цифр (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), кожна з яких кодує один із восьми фіксованих напрямків.

Формати векторних даних

Векторні графічні формати даних подані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Векторні графічні формати даних

Найменування формату	Опис
1	2
DXF, DWG, DGN	Формати даних систем автоматизованого проєктування (САПР)
DX90	Формат цифрових навігаційних карт
DLG	Формат даних геологічної зйомки США
DWF	Формат передачі графічних даних мережею «Інтернет»
GEN	Обмінний формат ГІС-пакета ARC/INFO
SHP	Формат даних ГІС-пакета ArcView (шейп-файл), описується декількома файлами записів із певними розширеннями: .shp – позиційні дані; .shx – індекс форми просторових даних; .dbf – атрибутивні дані тощо
TAB	Формат ГІС-пакета MapInfo описується файлами з певними розширеннями: .tab – текстовий опис структури даних таблиць; .dat – табличні дані; .map – графічні об'єкти; .ID – список показчиків (індекс) на графічні об'єкти
MIF/MID	Обмінний формат ГІС-пакета MapInfo
HPGL	Формат виведення на принтер або графічний пристрій
DMF	Формат ГІС-пакета Digital

Серед векторних найбільш поширений у ГІС формат DXF пакету AutoCad (Autodesk Inc.), що використовує для передачі графічної атрибутивної інформації формат DBF.

Стиснення векторних даних

Насамкінець згадаємо про ланцюгове кодування (chain encoding) векторних даних як про спосіб стиснення векторної інформації. Ланцюгове кодування застосовується в тих випадках, коли відстань між точками введення настільки мала, що прирощення координат між суміжними точками виражається малими частками одиниці, як, наприклад, у поданому нижче прикладі: (45,458 0; 30,718 8), (45,457 1; 30,729 2), (45,456 6; 30,728 4), (45,456 1; 30,727 4).

У разі ланцюгового кодування повністю записуються лише координати першої точки. Для всіх інших вказується збільшення координат між поточною точкою і попередньою, виражене в тисячних частках одиниці з зазначенням знака: (45,458 0; 30,718 8), (−09; +04), (−05; −08), (−05; −10).

Таким чином, досягається дуже істотне стиснення інформації. Однак можливості застосування цього методу кодування обмежені досить малими приростами координат між сусідніми точками (не більше 0,009 9 / 95).

3.3 Взаємні перетворення векторних і растрових зображень

Ідея вектор-растрового перетворення досить проста: замінити крапку осередком, лінію – послідовністю осередків, територіальний об'єкт (полігон) – сукупністю осередків із заданим розміром. Очевидно, чим менше розмір осередку, тим точніше перетворення.

Принцип конвертації растрових структур просторових даних у векторні також очевидний: зміст кожного осередку зводиться до точки, положення якої відповідає, наприклад, геометричному центру цього осередку. Однак на практиці реалізація цього принцип ускладнюється «розмитістю» лінійних об'єктів та майданних кордонів, наявністю «шумів» особливо під час

векторизації даних дистанційного зондування або растрових зображень, отриманих шляхом сканерного введення. У цьому випадку необхідно проведення попередньої обробки растрових зображень з метою придушення шумів, «стоншення» лінійних об'єктів та кордонів територіальної «скелетизації» зображення тощо.

Необхідно зазначити також наявність комбінованих уявлень просторових даних, що поєднують вигоди растрового і векторного уявлень і не потребують перетворення «вектор – растр» або «растр – вектор». До них належать матрично-символьні структури, які є узагальненням квадротомічних структур даних і растрового подання, основною логічною одиницею якого є система, що об'єднує кілька рядків сканування і містить елементи векторного і растрового подання.

3.4 Переваги і недоліки растрових і векторних структур даних

Растрові і векторні структури даних мають свої переваги і недоліки. До переваг растрових структур належить злиття позиційної і семантичної атрибутики просторової інформації в єдиній прямокутній матриці, за якого відпадає необхідність в особливих засобах зберігання і обробки семантики просторових даних (як у векторних структурах), що істотно спрощує аналітичні операції з растровими зображеннями, зокрема оверлейний аналіз. Основними недоліками растрового подання є великі обсяги машинної пам'яті, необхідні для зберігання растрових даних, висока вартість сканерів, які забезпечують автоматизоване введення інформації, а також недостатньо висока точність позиціонування точкових об'єктів і хизування ліній (особливо похилих), обумовлюється осередненням інформації в межах осередку растра.

Основними перевагами векторного подання є компактність зберігання (часто в десятки разів вища, ніж за растрового) та найбільш висока точність позиціонування точкових об'єктів і малювання ліній. Однак векторні структури мають досить складну систему опису топологічної структури даних, у зв'язку з

чим їх обробка вимагає вирішення складних геометричних алгоритмів із визначення положення вузлових точок, стикування сегментів (дутий), замикання полігонів тощо. Істотно сповільнює маніпулювання векторними даними, особливо на персональних комп'ютерах із відносно невеликою швидкістю.

Порівняння переваг і недоліків двох основних структур просторових даних показує, що вони взаємно протилежні одна одній – переваги одного способу формалізації є недоліком іншого і навпаки. Це визначає необхідність застосування в рамках ГІС-технології обох способів, а отже, можливості перетворення (конвертації) однієї структури в іншу і навпаки (виконання вектор-растрових і растр-векторних перетворень), яка на сьогодні реалізована у всіх досить потужних ГІС-пакетах. При цьому вирішення різних завдань доцільно виконувати з використанням того способу формалізації просторових даних, який у цьому випадку більш ефективний.

Існують рекомендації використовувати векторні структури для зберігання феноменологічно структурованої інформації (грунтові ареали, використання земель тощо). для мережевого аналізу, зокрема транспортних і телефонних мереж, а також для підвищення якості відображення під час картографування лінійних об'єктів. Растрові структури необхідні для швидкого і дешевого накладення карт і просторового аналізу, а також моделювання в тих випадках коли доводиться працювати з поверхнями (наприклад, топографічними). Досить ефективним, зокрема для високоякісного картографування, є поєднання векторного і растрового форматів із використанням векторного формату для зберігання і побудови ліній, а растрового – для наповнення (розмальовки) площ.

Таким чином, вибір способу формалізації даних визначається багатьма факторами, серед яких:

- характер просторової інформації;
- обсяг вільної пам'яті;
- швидкість комп'ютера;

- цільове призначення проєкту;
- джерело отриманих даних тощо.

3.5 TIN-моделі подання поверхні

Визначення моделі TIN

Модель TIN (від англ. «Triangulation Irregular Network» – «триангуляційна нерегулярна мережа») географічних об'єктів – модель поверхні у вигляді мережі суміжних не перетинаються трикутних граней, певна по вузлах і ребрах, які покривають поверхню.

Слова в назві моделі означають таке:

1. Triangulation (триангуляційна) вказує на спосіб побудови оптимізованого набору трикутників по набору точок.
2. Irregular (нерегулярна) визначає, що точки можуть бути взяті зі змінною щільністю для моделювання ділянок поверхні, де рельєф різко змінюється.
3. Network (мережа) відображає топологічну структуру.

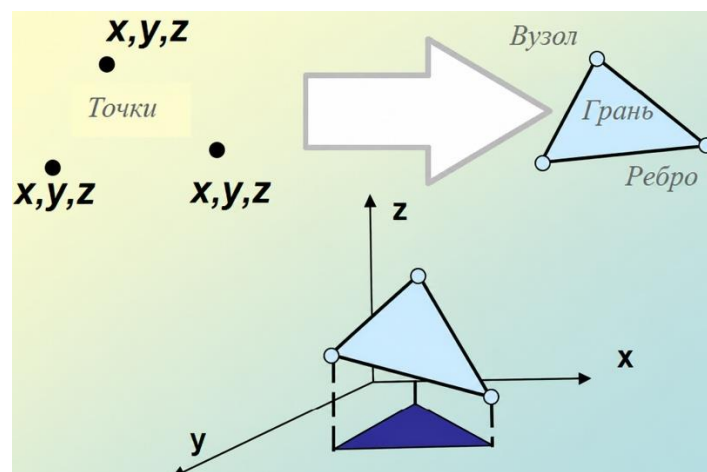


Рисунок 3.4 – Геометрія моделі TIN

Геометрія моделі TIN (рис. 3.4) утворюється гранями, вузлами і ребрами у тривимірному просторі:

- грань (Face) – поверхня трикутника у тривимірному просторі;
- вузол (Node) – вершина трикутника з координатами X, Y, Z ;
- ребро (Edge) – сторона трикутника у тривимірному просторі.

Приклад відображення фрагмента поверхні моделлю TIN поданий на рисунку 3.5. Кожна грань TIN є частиною поверхні у 3D-просторі. Модель TIN є альтернативою растровим DEM і використовується у багатьох геоінформаційних системах, системах автоматизованого картографування. Моделі TIN розроблені у 1970-х роках як простий спосіб побудови поверхонь по нерегулярно розташованим точкам.

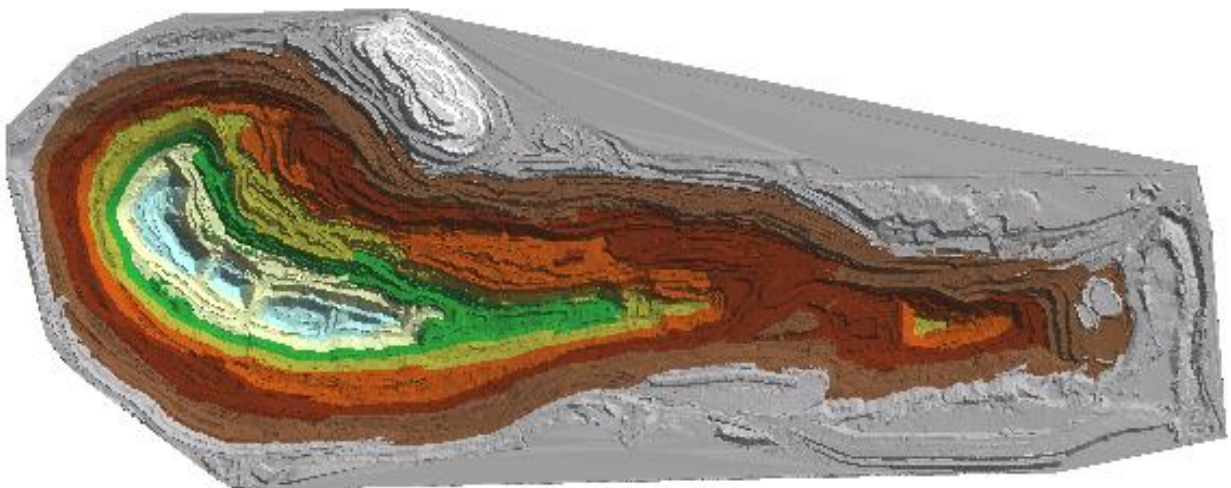


Рисунок 3.5 – Приклад відображення фрагмента поверхні моделлю TIN

Властивості моделі TIN

Модель TIN має такі властивості:

- дозволяє отримати точне уявлення про локальну частину поверхні, використовуючи змінну щільність вузлів зі значенням Z і лінії перегину поверхні;
- є основою 3D-візуалізації поверхні;

– дозволяє виконати складний аналіз поверхні (обчислення висот, ухилів, експозицій схилів, отримання ізоліній поверхні, розрахунки обсягів, вертикальні профілі по трасі лінії, аналіз видимості).

Тріангуляція Делоне

Вихідними даними для побудови TIN є набір точок із координатами X, Y, Z. Завдання полягає в тому, щоб з цього набору точок створити мережу суміжних непересічних трикутників. Завдання побудови тріангуляції по набору точок є однією з базових в обчислювальній геометрії. До неї зводяться багато інших завдань, вона широко використовується в машинній графіці та геоінформаційних системах для моделювання поверхонь і рішення просторових задач. Завдання побудови тріангуляції по початковому набору точок є неоднозначною, крім того виникає питання, яка з різних тріангуляцій краще? Можна, наприклад, оптимальним рішенням вважати таке, за якого сума довжин всіх ребер буде мінімальною серед всіх можливих тріангуляцій, побудованих на тих самих вихідних точках. Рішення завдання за такої умови має високу трудомісткість.

Найбільшого поширення у ГІС отримала тріангуляція Делоне (Delaunay), яка названа по імені її автора, радянського математика Бориса Миколайовича Делоне (1890–1980). За визначенням Делоне три точки формують трикутник у тріангуляції тоді, коли в окружності, описаної навколо трикутника немає інших точок розбиття. Кожне коло, що обмежує трикутник, не містить точок з набору всередині нього.

Один з алгоритмів побудови тріангуляції Делоне заснований на генеруванні полігонів Тіссена (Thiessen) або Вороного. Для цього поверхня розбивається на ділянки, в яких кожна точка розташована найближче до деякого вузла мережі – генеруючої точки. Отримані кордони називають полігонами Тіссена або полігонами Вороного. Дві точки з'єднуються лінією в тріангуляції Делоне, якщо їхні полігони Тіссена мають спільний кордон. Цей

метод дозволяє отримати необхідні трикутники. Полігони Тіссена використовуються також під час аналізу близькості.

Топологія в TIN

Модель TIN – це топологічна структура даних: ребра з'єднуються у вузлах; кожен трикутник суміжний із сусідніми трикутниками. Топологічні відносини створюються шляхом створення в базі даних для кожного вузла вказівки на суміжні вузли. Простір навколо території подається фіктивним вузлом.

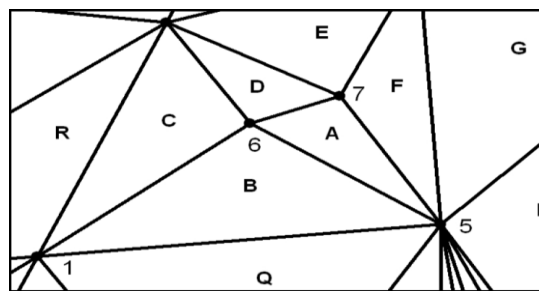


Рисунок 3.6 – Модель TIN

Модель TIN в цифровому вигляді (рис. 3.6) описується пов'язаними файлами – файлом вершин (табл. 3.4), файлом покажчиків і файлом трикутників (табл. 3.5). Для кожної точки розбиття зберігається її унікальний номер, координати і список точок, з якими вона з'єднана прямими (за годинниковою стрілкою).

Таблиця 3.4 – Файл вершин

Вершина	X	Y	Z
1	X1	Y2	Z3
2	X2	Y2	Z2
3	X3	Y3	Z3
4	X4	Y4	Z4
5	X5	Y5	Z5
6	X6	Y6	Z6
7	X7	Y7	Z

Таблиця 3.5 – Файл показчиків і файл трикутників

Трикутник	Вершини			Суміжні трикутники		
A	5	6	7	B	D	F
B	1	5	6	A	C	Q
C	1	2	6	B	D	R
D	2	6	7	A	C	E
E	2	3	7	D	F	S
F	3	5	7	A	E	G
G	3	4	5	F	T	P

Етапи створення моделі TIN

Модель TIN створюється у такій послідовності:

1. Етап 1. Побудова точок по координатам X_i , Y_i , Z_i .

2. Етап 2. Побудова тріангуляції Делоне.

3. Етап 3. Введення ліній перегину поверхні (Breakline) та модифікація TIN з обліком ліній перегину. Лінії перегину рельєфу визначають різкі зміни поверхні, такі як вершина лінії, низ відкосу, гребні, тальвеги тощо.

4. Етап 4. Введення областей виключення з постійним значенням Z та модифікацією TIN з урахуванням полігональних об'єктів, наприклад, водної поверхні.

5. Етап 5. Вирішення задач по моделі TIN surface.

3.6 3D-моделі в ГІС

Нещодавно в геоінформаційних системах зазвичай застосовувалися двовимірні просторові дані. Зараз ГІС здебільшого працюють у так званому 2,5-вимірному просторі, коли величина Z атрибутивно прив'язана до точки $(X; Y)$, часто через цифрові моделі рельєфу. В інтегрованому фотореалістичному інформаційному середовищі, формування якого ми зараз спостерігаємо, здійснюється перехід до повноцінних тривимірних даних і, більш того, з урахуванням тимчасового параметра, до багатовимірних операцій.

Потреба в реалістичному відображенні навколишнього світу збільшує значущість тривимірного (3D) моделювання. 3D-моделі (рис 3.7) полегшують

планування, контроль і ухвалення рішень у багатьох галузях. Тривимірна фотореалістична візуалізація територій методами комп'ютерної графіки і створення муніципальних тривимірних ГІС здатні змінити технологію і практику управління містом, міського планування навколишнього середовища, розробки та ведення проєктів.

Тривимірне моделювання дозволяє:

- виконати фотореалістичне відображення території і віртуальне пересування по моделі;
- оцінити можливості моделювання і аналізу даних міського ландшафту, зміни моделей будівель та інших об'єктів;
- комбінувати тематичні шари з впровадженими 3D-об'єктами;
- дослідити методи підготовки перспективних тривимірних топологічних ГІС – даних і моделей, і поєднання їх із даними САПР.

Тривимірне зображення поверхні (3D-поверхня) – засіб цифрового об'ємного уявлення поверхонь у вигляді дротяних діаграм, при цьому використовуються різні типи проєкції, а зображення можна повертати і нахиляти, використовуючи простий графічний інтерфейс.



Рисунок 3.7 – Приклад подання 3D-моделі

Цифрова модель місцевості, або цифрова модель рельєфу, ЦМР (від англ. «Digital Elevation Model», DEM, інколи – «Digital Terrain Model», DTM) у геоінформатиці – це цифрове подання рельєфу земної поверхні, створене на основі даних про рельєф та топології місцевості. Часто використовується як синонім цифрової моделі рельєфу, хоч є більш універсальним терміном.

Для відображення рельєфу за даними ЦМР можуть бути сформовані растрові зображення.

Растрова поверхня (зображення) формується за Grid-моделлю, при цьому кожному пікселю надається значення, пропорційне висоті відповідної комірки сітки.

Тіньовий рельєф (аналітичне відмивання рельєфу) – растрове відображення ЦМР, під час формування якого крім висоти кожної ділянки сітки Grid-моделі враховується освітленість схилів.

Реалізовано можливість поєднання 3D-поверхонь з іншими тематичними шарами. Для досягнення реалістичності відображення об'єктів місцевості 3D-поверхні поєднуються з картографічними або ортозображеннями.

Віртуальна модель місцевості (ВММ) – модель місцевості, що містить інформацію про рельєф земної поверхні, її спектральні яскравості та об'єкти, розташовані на території, яка призначена для інтерактивної візуалізації. ВММ дозволяє забезпечити ефект присутності на місцевості, може бути відображена у вигляді тривимірної статичної сцени (3D-вигляд) або в режимі імітації польоту над місцевістю, коли спостерігач знаходиться в точці з заданими координатами.

Найпоширенішим різновидом цифрової моделі рельєфу є цифрове подання топографічної поверхні у вигляді растра (растрова ЦМР, сіткова ЦМР, Grid DEM). Побудова ЦМР у цьому випадку полягає в поширенні наявного обмеженого набору точкових даних про відмітки топографічної поверхні в прилеглі комірки растра, що суцільно вкриває цю територію, з використанням методів просторової інтерполяції. Просторова інтерполяція точкових даних ґрунтується на виборі аналітичної моделі топографічної поверхні.

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕМЕНТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Тема 4 Планування ГІС-проєкту

План

- 4.1 Етапи і правила проєктування ГІС.
- 4.2 Розробка програмної оболонки ГІС.
- 4.3 Технічне проєктування ГІС.

Метою планування ГІС є створення ефективної, масштабованої та економічно обґрунтованої геоінформаційної системи, яка підтримує стратегічні та операційні цілі організації.

У сучасному середовищі ГІС розглядається не просто як програмний продукт, а як елемент цифрової трансформації організації та платформа підтримки ухвалення рішень.

Правильне планування:

- мінімізує ризики провалу;
- забезпечує відповідність бізнес-цілям;
- оптимізує витрати;
- підвищує ефективність управління;
- створює довгострокову цінність.

Брак системного планування часто призводить до:

- неузгодженості функціоналу;
- перевитрат бюджету;
- низької окупності інвестицій;
- втрати довіри керівництва;
- згортання ініціативи.

Плануванням ГІС повинні займатися ГІС-команда та ГІС-менеджер. ГІС-менеджер повинен взяти на себе провідну роль у процесі планування, але

він не повинен займатися плануванням поодинці. Плануванням повинні займатися ви і ваші колеги (ГІС-команда), оскільки на карті стоїть ваша ГІС, ваша робота і ваша репутація. Він повинен тримати осіб, які ухвалюють рішення на вищому рівні, в курсі подій протягом всього процесу. Нездатність забезпечити повну інформованість «утримувачів бюджету» може призвести до скорочення або припинення фінансування.

Користувачі. Важливою категорією людей, яку потрібно залучити до процесу планування, є користувачі системи. Якщо не залучити їх, то вам, скоріш за все, не вдасться задовольнити їхні реальні потреби.

Консультанти. Одне зауваження з приводу консультантів: якщо ви вирішите найняти ГІС-консультантів, примусьте їх провести вас через етапи планування, ніколи не наймайте консультанта, який здійснюватиме планування за вас.

4.1 Етапи і правила проєктування ГІС

Проєктування ГІС – виробничий процес, що полягає у визначенні об'єктового складу ГІС, складу інформаційного забезпечення та функціональних можливостей, у виборі ГІС-оболонки і встановлюваних параметрів системи.

Застосування ГІС для вирішення різних завдань, у різних організаційних схемах і з різними вимогами, обумовлює різні підходи до процесу проєктування ГІС.

Виділяють п'ять основних етапів процесу проєктування ГІС:

1. Аналіз системи ухвалення рішень. Процес починається із визначення всіх типів рішень, для ухвалення яких потрібна інформація. Повинні бути враховані потреби кожного рівня і функціональної сфери.

2. Аналіз інформаційних вимог. Визначається, який тип інформації потрібен для ухвалення кожного рішення.

3. Агрегація рішень, тобто угруповання завдань, в яких для ухвалення рішень потрібна одна і та сама або аналогічна інформація.

4. Проєктування процесу обробки інформації. На цьому етапі розробляється реальна система збору, зберігання, передачі та модифікації інформації. Повинні бути враховані можливості персоналу щодо використання обчислювальної техніки.

5. Проєктування і контроль за системою. Найважливіший етап – це створення і втілення системи. Оцінюється працездатність системи з різних позицій, за необхідності здійснюється коригування. Будь-яка система буде мати недоліки, і тому її необхідно робити гнучкою – такою, що пристосовується.

Геоінформаційні технології, що покликані автоматизувати багато трудомістких операцій, раніше вимагали великих тимчасових, енергетичних, психологічних та інших витрат від людини. Однак різні етапи технологічного ланцюжка підлягають більшій або меншій автоматизації, що значною мірою може залежати від правильної постановки вихідних завдань.

Насамперед це формулювання вимог до використовуваних інформаційних продуктів і вихідних матеріалів, отриманих у результаті обробки. Сюди належать вимоги до роздрукування карт, таблиць, списків, документів; до пошуку документів тощо. У результаті має бути створений документ з умовною назвою «Загальний список вхідних даних».

Наступний крок – визначення пріоритетів, черговості створення і основних параметрів (територіального охоплення, функціонального охоплення і обсягу даних) створюваної системи. Далі встановлюють вимоги до використовуваних даних з урахуванням максимальних можливостей їх застосування.

Правила проєктування ГІС:

- чітка постановка завдань: необхідно визначити точні цілі та задачі, які буде виконувати ГІС;
- модульність: система повинна бути побудована таким чином, щоб її можна було легко модифікувати, розширювати або інтегрувати нові функції;
- масштабованість: ГІС повинна мати можливість адаптації до збільшення обсягів даних та кількості користувачів;

- надійність: важливо забезпечити стійкість до помилок та збоїв системи, що може бути досягнуто за рахунок резервного копіювання та дублювання ключових компонентів;
- безпека: дані ГІС повинні бути захищені від несанкціонованого доступу як з точки зору збереження конфіденційності, так і цілісності даних.

4.2 Розробка програмної оболонки ГІС

Більшість ГІС обробляє просторові дані в одній з трьох парадигм:

- перша – це традиційна окрема настільна інформаційна система, яка виконує комплексний набір ГІС-функцій із широким спектром типів даних;
- друга – це середовище розробника, в якому набір окремих функціональних компонентів, не пов'язаних із конкретними додатками, може використовуватися розробниками програмного забезпечення для створення нових додатків;
- третя – серверне середовище: набір стандартизованих вебсервісів для ГІС (наприклад, складання карт, доступ до даних, геокодування) підтримує загальнокорпоративні додатки.

Ці середовища на сьогодні взаємодіють. Рух йде до створення в майбутньому більш уніфікованих моделей та інтерфейсів.

Розробка програмної оболонки ГІС складається з шести основних етапів:

1. Аналіз вимог, що висуваються до ГІС.
2. Визначення специфікацій.
3. Проєктування системи.
4. Кодування.
5. Тестування.
6. Експлуатація та обслуговування.

Трудомісткість цих етапів орієнтовно розподіляється у відсотках так, як це подано на рисунку 4.1.

До аналізу входять такі питання, як час обробки інформації, вартість обробки, ймовірність помилки тощо. Також аналізуються проблеми як технологічного, так і концептуального характеру. На цьому етапі необхідно визначити основні поняття, об'єкти і процедури обробки інформації, які будуть основою ГІС.

На етапі визначення специфікацій здійснюється точний опис функцій системи, задається структура вхідних і вихідних даних, вирішується комплекс питань, що стосуються структури файлів, організації доступу до даних, їхнього оновлення та видалення.



Рисунок 4.1 – Орієнтовний розподіл трудомісткості основних етапів розробки програмної оболонки ГІС

На етапі проектування розробляються алгоритми, що задаються специфікаціями, і формується загальна структура інформаційної системи. При цьому для кожного певного модуля системи повинні бути сформульовані вимоги до нього: реалізовані функції, розміри модулів, час виконання тощо.

Під час реалізації етапу кодування використовуються алгоритмічні мови високого рівня, методи структурного та об'єктно-орієнтованого програмування.

У процесі тестування використовуються дані, характерні для системи в робочому стані. План проведення випробувань повинен бути складений заздалегідь, а більшу частину тестових даних необхідно визначити на етапі проектування системи. Витрати на тестування складають половину всіх витрат на створення системи.

4.3 Технічне проєктування ГІС

Створення оптимальної інфологічної моделі містить дослідження інформаційних потоків, характерних для цієї предметної області, встановлення об'єктів предметної області та опис зв'язків, що існують між ними.

Створення фізичної моделі бази геоданих, яка пов'язує датологічну модель із конкретним середовищем зберігання, є важливим етапом, оскільки на ньому ведеться розробка елементів користувацького інтерфейсу, вирішуються питання цілісності даних і надійності системи, розподіляються права доступу і вибираються засоби і методи захисту від нелегального доступу.

Проєктуючи ГІС, необхідно виконати такі дії:

- виробити вимоги, що стосуються вихідного картографічного матеріалу (потрібний масштаб, проєкція, система координат);
- визначити розмірність географічних даних, з якими доведеться працювати (двовірні 2D і/або тривимірні 3D), а також встановити модель подання просторових даних (векторна і/або растрова);
- спроектувати пошаровий склад просторової інформації ГІС;
- встановити наявність цифрових карт необхідних територій.

Програмні засоби розробки ГІС класифікують за їхнім призначенням.

Спеціалізовані програмні засоби:

- універсальні повнофункціональні ГІС (full GIS);
- інструментальні ГІС (GIS software tools);
- картографічні візуалізатори (map viewer);
- картографічні браузеры (map browser);
- засоби настільного картографування (desktop mapping);
- інформаційно-довідкові системи (help-desk system).

Спеціальні програмні засоби, що обслуговують окремі функціональні групи:

- конвертування форматів;
- оцифрування;

- векторизація;
- створення та обробка цифрових моделей рельєфу;
- взаємодія з системами супутникового позиціонування.

У комплексі з програмним забезпеченням ГІС використовуються такі програмні продукти:

- настільні видавничі пакети (Adobe Page Maker, Quark Xpress, Adobe InDesign тощо);
- пакети статистичного аналізу (Statistica тощо);
- системи управління базами даних (MS Access, Oracle, DBase, MySQL, MS SQL SERVER тощо);
- системи автоматизованого проєктування (AutoCAD);
- електронні таблиці (MS Excel тощо);
- засоби цифрової обробки зображень (Adobe Photoshop, Corel Draw тощо).

Програмне забезпечення для розробки ГІС можна розділити на три основні групи:

- системи з широкими можливостями, що містять введення даних, зберігання, складні запити, просторовий аналіз, виведення даних (ARCINFO, Панорама, Mapinfo тощо);
- програмні компоненти або бібліотеки, які містять низку корисних функцій (MapObjects, GeoConstructor, GIS ToolKit, ArcObjects SDK, ArcGIS Runtime SDK, ArcGIS API для JavaScript, ArcGIS API для Flex, ArcGIS API для Silverlight);
- середовища розробки програмного забезпечення на різних мовах програмування (Visual C ++, Visual Basic, Delphi, C# тощо).

Тема 5 Збір, обробка та організація даних у ГІС

План

5.1 Збір даних у ГІС.

5.2 Обробка і організація даних у ГІС.

5.1 Збір даних у ГІС

Поняття даних

Інформаційний блок у будь-якій інформаційній системі – це різного роду дані, зрозумілі нашій інформаційній системі.

Термін «дані» залежно від контексту може означати:

- будь-які відомі факти;
- властивості та явища, притаманні об'єктам реального світу;
- результати спостережень і вимірювань цих об'єктів.

Ми під терміном «дані» будемо розуміти: сукупність фактів, поданих у будь-якому формалізованому вигляді для їх використання в науці або в інших сферах людської діяльності.

Дані в геоінформаційних системах складаються з:

- географічного положення (розміщення) просторових об'єктів, поданих 2-, 3- або 4-вимірними координатами в географічно співвіднесений системі координат (широта / довгота);
- властивостей (атрибутів), що є описовою інформацією певних просторових об'єктів (вони часто не мають прямих вказівок на просторове розміщення, тому часто атрибути називають непросторовою інформацією);
- просторових відносин, що визначають внутрішні взаємини між просторовими об'єктами (наприклад, напрямок об'єкта А щодо об'єкта В, відстань між об'єктами А і В, вкладеність об'єкта А в об'єкт В);

- тимчасових характеристик, поданих у вигляді термінів отримання даних; вони визначають їхній життєвий цикл, зміну місця розташування або властивостей просторових об'єктів у часі.

Отже, все вимірні параметри моделей геоінформаційних даних підпадають під одну з характеристик: місце, час, предмет.

Дані в ГІС є формалізованим відображенням нескінченно складного реального світу, на базі яких дослідник отримує інформацію про геосистеми і виробляє специфічні географічні знання. Користувач бачить реальний світ за допомогою бази даних, тому точність відображення, що міститься в базі даних просторових об'єктів, повинна бути максимально можливою.

Точність – це близькість результатів, розрахунків і оцінок до істинних значень, або значень, прийнятих за справжні.

Показники точності в ГІС:

- точність вимірювань;
- точність обчислень;
- точність подання.

Точність входить до комплексу даних, що визначають важливий показник – якість даних. У ньому виділяють ще кілька компонент:

- позиційну точність (ступінь відхилення даних ГІС про місцезнаходження від справжнього стану об'єкта на місцевості);
- точність атрибутів (близькість значень атрибута до його істинної величини);
- логічна несуперечливість (містить як несуперечливість у БД, так і структурну, і топологічну);
- повнота даних (ступінь охоплення даними безлічі відповідних об'єктів);
- походження даних (відомості про джерела даних, часу збору даних, методи обробки і введення даних тощо).

Отже, коли ви отримуєте або вводите будь-які дані, необхідно зрозуміти, які питання вас повинні насамперед зацікавити.

Інформація про якість даних:

- дата отримання;
- точність позиціонування;
- точність класифікації;
- повнота;
- метод, використаний для отримання та кодування даних.

На жаль, із просторовими даними не завжди все просто. Помилки в даних для ГІС можна розділити на помилки вихідних даних і на помилки, зроблені під час введення. Помилки, зроблені під час введення, очевидно залежать від способу введення інформації. У разі ручного введення, це зазвичай операторські помилки, в разі автоматичного – помилки розпізнавання, в разі введення через системи GPS – помилки зв'язку тощо.

Джерела отримання вихідної інформації в ГІС

У ГІС використовуються дані, отримані з різних джерел:

1. Картографічні матеріали (топографічні та загальногеографічні карти, карти адміністративно-територіального поділу, кадастрові плани тощо). Відомості, отримані з карт, мають територіальну прив'язку, тому їх зручно використовувати в якості базового шару ГІС. Якщо немає цифрових карт на досліджувану територію, тоді графічні оригінали карт подаються у цифровому вигляді.

2. Результати польових обстежень територій містять геодезичні вимірювання природних об'єктів, що здійснюються з допомогою нівелірів, теодолітів, електронних тахеометрів, GPS-приймачів, 3D-сканерів. Геодезія (geodesy) – область науки, техніки і виробництва, що розробляє засоби і методи вимірювань, а також методи обчислень взаємного і просторового положення об'єктів, параметрів Землі та її об'єктів і зміни цих параметрів у часі.

3. Статистичні дані – містять дані державних статистичних служб за різними галузями народного господарства, а також дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень (гідрологічні та метеорологічні дані, відомості про забруднення навколишнього середовища тощо).

4. Дані дистанційного зондування (ДДЗ) все ширше використовуються для формування баз даних ГІС. До ДДЗ насамперед належать матеріали, одержані з космічних носіїв. Для дистанційного зондування застосовують різноманітні технології отримання зображень і передачі їх на Землю. Носії знімальної апаратури (космічні апарати і супутники) розміщують на різних орбітах, оснащують різної апаратурою. Завдяки цьому отримують знімки, що відрізняються різним рівнем оглядовості і детальності відображення об'єктів природного середовища в різних діапазонах спектра (видимий і ближній інфрачервоний, тепловий інфрачервоний і радіодіапазон). Все це обумовлює широкий спектр завдань, що вирішуються із застосуванням ДДЗ. До методів дистанційного зондування належать аеро- і наземні зйомки та інші неконтактні методи, наприклад гідроакустичні зйомки рельєфу морського дна. Матеріали таких зйомок забезпечують отримання як кількісної, так і якісної інформації про різні об'єкти природного середовища.

5. Літературні дані (довідкові видання, книги, монографії та статті, що містять різноманітні відомості за окремими типами географічних об'єктів).

6. Дані з архівів. Архів (від грец. «Ἀρχεῖον») – це установа або структурний підрозділ організації, що здійснює зберігання, комплектування, облік і використання архівних документів.

7. Дані з інших ГІС.

У ГІС рідко використовується тільки один вид даних, найчастіше це поєднання різноманітних даних на будь-яку територію.

5.2 Обробка і організація даних у ГІС

Обробка та організація даних у ГІС – це комплексний процес введення, редагування, зберігання та аналізу просторової інформації. Він містить збір

даних, їх векторизацію або растрове сканування, створення бази геоданих (векторні шари, растри), а також просторовий аналіз для моделювання територій та ухвалення рішень.

Географічна інформаційна система підтримує декілька видів для роботи з географічною інформацією:

- вид бази геоданих: ГІС – це просторова база даних, що містить набори даних, які подають географічну інформацію в контексті загальної моделі даних ГІС (векторні об’єкти, растри, топологія, мережі тощо);
- форма геовізуалізації: ГІС – це набір інтелектуальних карт та інших видів, що показують просторові об’єкти і відносини між об’єктами на земній поверхні (можуть бути побудовані різні види карт, які можуть використовуватися як «вікна у базу даних» для підтримки запитів, аналізу і редагування інформації);
- вид геообробки: ГІС – це набір інструментів для отримання нових наборів географічних даних з існуючих наборів даних (функції просторових даних (геообробки) витягують інформацію з існуючих наборів даних, застосовують до них аналітичні функції та записують отримані результати в нові похідні набори даних.

У програмному забезпеченні ESRI® ArcGIS® ці три види ГІС подані каталогом (ГІС як колекція наборів геоданих), картою (ГІС як інтелектуальний картографічний вид) і набором інструментів (ГІС як набір інструментів для обробки просторових даних). Всі вони є важливими складовими повноцінної ГІС і більшою чи меншою мірою використовуються у всіх ГІС-додатках.

Види бази геоданих територіального управління

ГІС – це особливий тип бази даних про навколишній світ, географічна база даних (база геоданих). Це «інформаційна система для географії». По суті, основою ГІС є структурована база даних, яка описує світ у географічному аспекті.

Наведемо короткий огляд деяких ключових принципів, важливих для розуміння баз геоданих.

Географічне уявлення

Створюючи дизайн бази геоданих ГІС, користувачі визначають, як будуть подаватися різні просторові об'єкти. Наприклад, земельні ділянки зазвичай подаються як полігони, вулиці – як центральні лінії, свердловини – як точки тощо. Ці об'єкти групуються в класи об'єктів, у яких кожен набір має єдине географічне уявлення.

Кожен набір даних ГІС дає просторове уявлення якогось аспекту навколишнього світу, включно з:

- впорядкованими наборами векторних об'єктів (наборами крапок, ліній і полігонів);
- наборами растрових даних, таких як цифрові моделі рельєфу або зображення;
- просторовими мережами;
- топографією місцевості та інших поверхонь;
- іншими типами даних, такими як адреси, назви місць, картографічна інформація.

Описові атрибути

Крім географічних уявлень, набори даних ГІС містять традиційні табличні атрибути, що описують географічні об'єкти.

Більшість таблиць можуть бути пов'язані з географічними об'єктами за загальними полями (їх часто називають ключовими). Подібні табличні набори інформації й відносини (взаємозв'язки) відіграють ключову роль у моделях даних ГІС, аналогічну тій, яку вони виконують у традиційних додатках, що працюють з базами даних.

Просторові відносини: топологія та мережі

Просторові відносини, такі як топології мережі, також є дуже важливими частинами бази даних ГІС. Топологія застосовується для контролю за спільними кордонами між просторовими об'єктами, для визначення і

виконання правил цілісності даних, а також для підтримки топологічних запитів і навігації (наприклад, щоб визначити суміжності та зв'язність об'єктів).

Топологія також використовується для розширеного редагування і побудови просторових об'єктів на основі неструктурованих геометричних елементів (наприклад, для побудови полігонів із ліній). Мережі описують пов'язаний граф ГІС-об'єктів, за яким можна переміщатися. Це важливо для моделювання маршрутів і навігації в таких сферах діяльності, як транспортна, трубопровідна, інженерні комунікації, гідрологія та в багатьох інших прикладних задачах, пов'язаних з мережами.

Тематичні шари і набори даних

ГІС організовує просторові дані в серії тематичних шарів і таблиць. Оскільки набори даних у ГІС пов'язані географічно, їм приписані реальні місця розташування, і вони накладаються один на один.

У ГІС однорідні набори географічних об'єктів зібрані в такі шари, як земельні ділянки, свердловини, будівлі та споруди, ортофотознімки і растрові цифрові моделі рельєфу (ЦМР, DEM).

Чітко визначені набори геоданих критично важливі для геоінформаційної системи, а засноване на шарах поняття тематичного набору інформації важливо для концепції набору даних ГІС. Дані в ГІС організовуються як набір тематичних шарів (об'єкти, растри, адреси), які об'єднуються спільною системою координат. Важливу роль відіграють метадані, які містять інформацію про дату, точність та метод отримання даних.

Тема 6 Аналітичні операції в ГІС

План

- 6.1 Аналіз просторових даних у ГІС.
- 6.2 Основні функції просторового аналізу даних.
- 6.3 Картометричні операції.
- 6.4 Просторово-часова статистика.
- 6.5 Оверлейний аналіз.
- 6.6 Аналіз рельєфу з використанням ЦМР.

6.1 Аналіз просторових даних у ГІС

Завдання геопросторового аналізу

Перевага геоінформаційної методології полягає в тому, що ГІС дозволяє ідентифікувати, підтримувати і керувати просторовими зв'язками між топологічними об'єктами, що дають уявлення про об'єкти реального світу, створювати нові об'єкти, зв'язку, пов'язувати нові атрибути.

Енді Мітчелл у керівництві по ГІС-аналізу визначає найбільш загальні завдання геопросторового аналізу, які щодня виконуються людьми на їхніх робочих місцях:

- аналіз розташування об'єктів – пошук, де розміщуються об'єкти (Mapping where things are);
- аналіз розподілу числових показників – виявлення, де більше, де менше (Mapping the most and least);
- побудова карт щільності – картографування щільності (Mapping density);
- пошук об'єктів всередині області – пошук того, що всередині (Finding what's inside);
- аналіз оточення – пошук того, що поруч (Finding what's nearby);

- аналіз просторових змін – картографування змін (Mapping change).

Вирішення цих питань із допомогою власних засобів ГІС та залучених зовнішніх моделюючих систем дає, наприклад, можливість:

- обґрунтувати місце розташування навчального закладу або бізнес-центру з урахуванням багатьох, зокрема і просторових чинників;
- прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних і економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру в просторі і часі;
- знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проєктується;
- визначити місце оптимального розташування нового родовища, а також обчислити його економічну ефективність;
- оцінити ефективність діяльності міліції, служб охорони навколишнього середовища, пожежників тощо.

До засобів просторового аналізу належать різні процедури маніпулювання просторовими і атрибутивними даними, що здійснюються під час оброблення запитів користувача. До них належать, наприклад, операції накладення графічних об'єктів, кошти аналізу мережевих структур або виділення об'єктів за заданими ознаками.

Для кожного ГІС-пакета характерний свій набір засобів просторового аналізу, що забезпечує вирішення специфічних завдань користувача, водночас можна виділити низку основних функцій, властивих практично кожному ГІС-пакету. Це насамперед організація вибору та об'єднання об'єктів відповідно до заданих умов, реалізація операцій обчислювальної геометрії, аналіз накладень, побудова буферних зон, мережевий аналіз.

Класифікації аналітичних засобів ГІС

Геоінформаційні системи містять багатий набір різноманітних аналітичних засобів для проведення операцій із географічними об'єктами. Існує низка підходів для класифікації аналітичних засобів ГІС. Брак єдиної їх

класифікації породжує різні тлумачення і погляди на суть аналітичного процесу взагалі.

У низці фундаментальних робіт набула поширення класифікація базових аналітичних засобів на основі виконуваних функцій, запропонована Стеном Аронофф (Stan Aronoff). Відповідно до цієї класифікації базові аналітичні засоби згруповані у чотири великі категорії:

- функції вимірювань, вибору даних, класифікації;
- оверлейні функції;
- функції околиці;
- функції зв'язності.

Деякі функції, які не увійшли в цю класифікацію, є спеціальними функціями геопроесування. Необхідно також мати на увазі, що в багатьох випадках процес аналізу здійснюється з допомогою використання набору як аналітичних, так і спеціальних операцій.

6.2 Основні функції просторового аналізу даних

Вибір об'єктів за запитом

Найпростішою формою запиту є отримання характеристик об'єкта зазначеного курсором на екрані та зворотна операція, коли зображуються об'єкти із заданими атрибутами. Більш складні запити дозволяють вибирати об'єкти за кількома ознаками, наприклад за ознакою віддаленості одних об'єктів від інших, збігаються об'єкти, але розташовані в різних шарах тощо.

Для вибору даних відповідно до визначених умов використовуються SQL-запити.

SQL – формальна непроцедурна мова програмування, застосовувана для створення, модифікації та управління даними в довільній реляційній базі даних, керованій відповідною системою управління базами даних (СУБД). SQL є насамперед інформаційно-логічною мовою, яка призначена для опису, зміни і

вилучення даних, що зберігаються в реляційних базах даних. SQL можна назвати мовою програмування.

Для виконання запитів різної складності реалізовані можливості використання під час складання запитів математичних і статистичних функцій, а також географічних операторів, які дозволяють вибирати об'єкти на підставі їх взаємного розташування в просторі (наприклад, чи знаходиться аналізований об'єкт всередині іншого об'єкта або перетинається з ним).

Узагальнення даних може проводитися за рівністю значень певного атрибута, зокрема для зонування території. Ще один спосіб угруповання – об'єднання об'єктів одного тематичного шару відповідно до їх розміщення всередині полігональних об'єктів інших тематичних шарів.

Геометричні функції

До геометричних функцій належать розрахунки геометричних характеристик об'єктів або їхнього взаємного положення в просторі, при цьому використовуються формули аналітичної геометрії на площині і в просторі. Так, для майданних об'єктів обчислюються займані ними площі або периметри кордонів, для лінійних – довжини, а також відстані між об'єктами тощо.

Фактично в багатьох випадках необхідно знати не тільки обсяг простору, займаний об'єктами, але і розташування об'єктів у просторі, яке може характеризуватися кількістю об'єктів у певній галузі, наприклад, розподіл чисельності населення. Найбільш поширені методи аналізу розподілу точкових об'єктів. Мірою точкового розподілу слугує щільність. Вона визначається як результат ділення кількості точок на значення площі території, на якій вони розташовані. Крім щільності розподілу можна оцінити форму розподілу. Точкові розподіли зустрічаються в одному з чотирьох можливих варіантів: рівномірному (якщо кількість точок у кожній малій підобласті таке ж, як і в будь-якій іншій підобласті), регулярному (якщо точки, розділені однаковими інтервалами по всій області, розташовані у вузлах сітки), випадковому, кластерному (якщо точки зібрані у тісні групи).

Точкові розподіли можуть описуватися не тільки кількістю точок у межах підобластей. Часто аналізуються локальні відносини всередині пар точок. Обчислення цього статистичного показника містить визначення середньої відстані до найближчої сусідньої точки серед всіх можливих пар найближчих точок. Цей метод дозволяє оцінити міру розрідженості точок у розподілі.

Розподіл ліній також оцінюється за щільністю. Зазвичай обчислення здійснюються для порівняння різних географічних областей, наприклад за густотою гідрографічної мережі. Лінії можуть також оцінюватися за близькістю і можливим перетином. Іншими важливими характеристиками є орієнтація, спрямованість і зв'язаність.

Аналіз розподілу полігонів подібний аналізу розподілу точок, однак під час оцінювання щільності визначають не кількість полігонів на одиницю площі, а відносну частку площі, займаної полігоном.

Побудова буферних зон

Одним із засобів аналізу близькості об'єктів є побудова буферних зон. Буферна зона (buffer zone, buffer, corridor) – полігональний шар, утворений шляхом розрахунку і побудови еквідистанти, або еквідистантних ліній (equidistant line), рівновіддалених щодо безлічі точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів. Межі таких зон обчислюються на основі аналізу відповідних атрибутивних характеристик. При цьому ширина буферної зони може бути як постійною, так і змінною. Наприклад, буферна зона навколо джерела електромагнітного випромінювання, матиме форму кола, а зона забруднення від димової труби заводу з урахуванням рози вітрів матиме форму, близьку до еліпса (рис. 6.1).

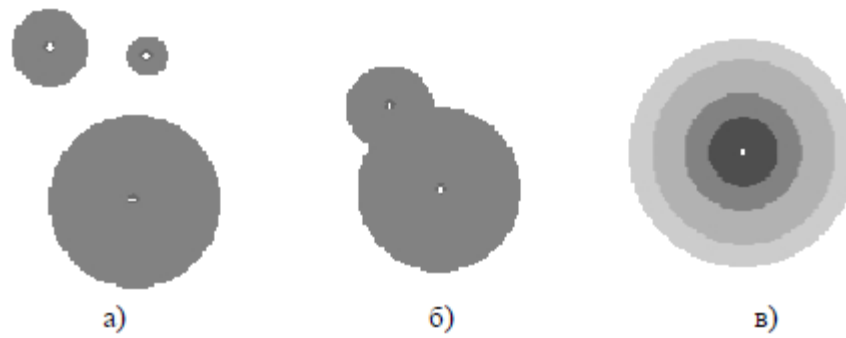


Рисунок 6.1 – Буферизація точкових просторових об’єктів:

а – буферні зони індивідуальної ширини; б – поєднані буферні зони;
в – концентричні буферні зони

Мережевий аналіз

Мережевий аналіз дозволяє користувачеві проаналізувати просторові мережі зв’язкових лінійних об’єктів (дороги, лінії електропередач тощо). Зазвичай мережевий аналіз слугує для задач визначення найближчого, найбільш вигідного шляху, визначення рівня навантаження на мережу, визначення адреси об’єкта або маршруту за заданою адресою та інші завдання (більш детально завдання аналізу мереж будуть розглядатися в наступній лекції).

6.3 Картометричні операції

Просторові дані, які зберігаються в цифрових форматах ГІС, здебільшого враховують вимоги швидкого доступу до інформації для традиційних видів картометричних операцій. До переліку таких операцій зазвичай належать:

- вимірювання довжин, площ і периметрів різних об’єктів;
- визначення дистанцій і напрямків між різними об’єктами;
- побудова профілів;
- розрахунок обсягів тощо.

У сучасних пакетах ГІС картометричні операції використовуються в усе більш широкому колі завдань.

Як ми вже обговорювали на попередній лекції, будь-які карти, паперові або електронні, побудовані на певній координатній основі. Координати використовуються для ідентифікації місця розташування об'єкта в просторі щодо будь-якої точки відліку.

Труднощі, пов'язані з інтеграцією різних картографічних джерел із різномірною математичною основою, включно з різнотипністю проєкцій, що використовуються під час їх складання, відчуються вже на етапі введення картографічної інформації в базу даних ГІС. У більшості систем, векторні і растрові подання просторових об'єктів описують їхнє розташування в умовних одиницях прямокутних декартових координат карти-джерела. Для трансформації записів координат об'єктів з однієї системи координат або картографічної проєкції в іншу потрібне знання параметрів проєкції карти-джерела, відомих із довідкових видань, а також аналогічних даних для похідної проєкції.

Комерційні програмні засоби ГІС високого рівня вже не вимагають від користувача досконального знання параметрів проєкцій. Ці параметри заздалегідь введені в спеціальну базу даних, що дозволяє вибирати нові картографічні проєкції простою вказівкою їхньої назви. Список доступних проєкцій у різних системах може бути різний.

Програмні засоби ГІС надають користувачеві можливість виконання низки трудомістких операцій: зміна масштабу і генералізація карт, розрахунок площ, довжин ламаних ліній, координат центрів полігонів. Наприклад, у ARC / INFO, MGE і багатьох інших системах площа і периметр належать до обов'язкових атрибутів полігонів. Їхні значення автоматично вписуються в поля спеціальних реляційних таблиць, коли вони наявні також у таблицях похідних полігональних шарів, що генеруються в процесі виконання операцій видалення або доповнення кордонів полігонів, а також оверлейних операцій. Для векторних уявлень використовуються алгоритми, засновані на формулах

аналітичної геометрії, наприклад, такі, як розрахунок довжин ліній як суми лінійних сегментів.

У разі растрового подання просто підраховується кількість осередків, що мають те чи інше значення.

Під час вимірювання дистанцій між об'єктами використовуються різні алгоритми залежно від типу координатної основи, способу подання даних і поставленого завдання. У найпростішому випадку вимірювання проводяться на двомірній поверхні у декартових координатах. На карті вказуються дві точки з координатами $(x_1; y_1)$ і $(x_2; y_2)$. Дистанція розраховується за такою формулою:

$$D = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2.$$

Як уже зазначалося не завжди можна задовольнятися плоскими координатами, іноді необхідно використовувати параметри еліпсоїдів, що відображають форму земної поверхні. У цьому випадку вимірювання проводяться з урахуванням кривизни земної поверхні, що дозволяє уникнути значних помилок, пов'язаних із використанням картографічних проєкцій, особливо на дрібномасштабних картах.

У цьому випадку визначення дистанцій може проводитися за такою формулою:

$$D = R \arccos(\sin(j_1) \times \sin(j_2) + \cos(j_1) \times \cos(j_2) \times \cos(l_1 - l_2)),$$

де R – радіус Землі;

j – широта;

l – довгота.

Більш складні алгоритми використовуються під час вимірювань дистанцій і площ на цифрових моделях рельєфу. Вимірювання можуть проводитися у двох варіантах: «*n air*» – визначення дистанції за повітрям без урахування складності земної поверхні, і «*on ground*» – визначення дистанції з урахуванням всіх нерівностей рельєфу, які зустрілися на шляху з однієї точки в іншу.

Крім того, залежно від цілей вашого проєкту, підходи до визначення площ і відстаней можуть також істотно відрізнятися, тому сучасні системи з розвиненим інтерфейсом іноді містять готові налаштування на деякі стандартні сфери використання:

- дво- і тривимірне картографічне креслення;
- архітектурне креслення;
- машинобудівне креслення тощо.

Крім того, в більшості систем є можливість вибирати різні стандартні і національні одиниці вимірювання відстаней і площ: милі, кілометри, фути, метри.

6.4 Просторово-часова статистика

Методи і процедури статистичного аналізу і моделювання широко використовуються в географічних дослідженнях через стохастичну природу багатьох географічних явищ, як природних, так і соціально-економічних. Поряд із використанням стандартних просторових статистичних алгоритмів і процедур, на сьогодні в географії стають все більш поширеними методи нового розділу математичної статистики – просторової статистики або геостатистики.

Які особливості має і що нового дає статистичне моделювання та аналіз у середовищі ГІС?

Одним із головних переваг ГІС-статистики є багаті можливості візуалізації процесу статистичного моделювання на всіх його етапах, починаючи з відбору необхідних для аналізу географічних об'єктів, інтерактивного графічного подання проміжних результатів у вигляді різних комп'ютерних діаграм та динамічно пов'язаних «вікон», і закінчуючи складними 3-мірними зображеннями геостатистичних поверхонь і обсягів. Таким чином, створюється інформаційне середовище, в якому дослідникам легше ухвалювати рішення в процесі статистичного моделювання та аналізу географічних явищ.

6.5 Оверлейний аналіз

Оверлейні операції

Топологічне накладення шарів є одними з найбільш поширених та ефективних засобів. У результаті накладання двох тематичних шарів утворюється інший додатковий шар у вигляді графічної композиції вихідних шарів. З огляду на те, що аналізовані об'єкти можуть належати до різних типів (точка, лінія, полігон), можливі різні форми аналізу: точка на точку, точка на полігон тощо.

Оверлейні операції (інакше звані операціями накладення) є одними з найбільш потужних і поширених аналітичних алгоритмів, використовуваних в середовищі ГІС. Ці операції засновані на накладення двох і більше різнойменних картографічних шарів і створення похідних об'єктів, що виникають під час їхнього геометричного накладення. Атрибутивна інформація, прив'язана до вихідних об'єктів, може успадковуватися похідними об'єктами безпосередньо або з використанням різних обчислювальних алгоритмів (обчислення середнього, підсумовування тощо). У спільних оверлейних операціях можуть використовуватися різні типи просторових об'єктів: точкові, лінійні і полігональні. Наприклад, аналіз вартості прокладки кабелю через кілька різних ділянок містить операцію накладення карти траси кабелю (лінійні дані) на карту землекористування (полігональні дані). При цьому визначається довжина ділянки траси, що проходить через кожне землекористування і залежно від типу ділянки визначається вартість прокладки. Можуть також аналізуватися перетин з іншими підземними комунікаціями, розташованими на різній глибині, наявність додаткових споживачів тощо. Однак найбільш часто зустрічаються накладення двох полігональних шарів.

Програмна реалізація векторних оверлейних алгоритмів досить складна і пов'язана з великими витратами машинного часу на пошук координат всіх перетинів і утворюють полігони лінійних сегментів. Аналіз перетину двох ліній – основна дія оверлейного аналізу. Багато алгоритмів ГІС для складних

процесів часто складені з декількох простих, що використовується, наприклад, у виробництві оверлею багатокутників (шляхом з'єднання і роз'єднання багатокутників у лінії).

У разі накладення двох прямих ліній може використовуватися такий алгоритм. Потрібно знайти точку перетину ліній, що проходять крізь точки з відомими координатами. Рівняння прямої, як відомо, буде мати такий вигляд:

$$y = a + bx,$$

де a – вільний член;

b – кутовий коефіцієнт.

Базуючись на двох точках на прямій із координатами $(x_1; y_1)$ і $(x_2; y_2)$, кутовий коефіцієнт b може бути визначений виразом:

$$b = (y_1 - y_2) / (x_1 - x_2).$$

Наприклад, нехай лінія 1 від $(4,2)$ до $(2,0)$ перетинає лінію 2 від $(0,4)$ до $(4,0)$.

Рішення для лінії 1:

$$b = (2 - 0) / (4 - 2) = 1.$$

Використовуємо рівняння $2 = a + 4$, отже, $a = -2$, $y = -2 + x$.

Для лінії 2:

$$y = 4 - x.$$

За одночасного розв'язання рівнянь дві лінії перетинаються в точці з координатами $(3,1)$.

Загальне рівняння перетину двох прямих ліній

Лінії, що описуються рівняннями $y = a_1 + b_1x$ та $y = a_2 + b_2x$ перетинаються у:

$$x_i = -(a_1 - a_2) / (b_1 - b_2),$$

$$y_i = a_1 + b_1x_i.$$

Однак цей алгоритм може давати збій у багатьох випадках, наприклад, якщо одна з ліній вертикальна ($b = 0$) або лінії паралельні. Для цього до програми оверлейного аналізу долучаються додаткові перевірочні процедури.

На практиці набагато частіше зустрічаються випадки аналізу перетину складних ліній, що складаються з безлічі прямих сегментів. Вони так само можуть бути оброблені простим алгоритмом, що перевіряє кожен сегмент в одній лінії проти кожного сегмента в іншій. Кількість роботи, яку необхідно зробити, пропорційна кількості сегментів ($n_1 \times n_2$). Обсяг непродуктивної роботи, спрямованої на аналіз свідомо непересічних сегментів, може бути значно скорочений за рахунок долучення до алгоритму елементів евристичного аналізу.

Одним з таких методів є метод мінімально прилеглого прямокутника. Розміри такого прямокутника визначаються мінімумом і максимумом X і Y координат лінії. Якщо мінімально прилеглі прямокутники двох ліній не перетинаються, то і лінії не можуть перетнутися. Якщо вони перетинаються, то знаходяться мінімально прилеглі прямокутники для кожного сегмента лінії, щоб виділити ті, які мають можливість перетнутися.

У разі оверлейних багатокутників, якими зазвичай представлені полігони, використовується низка інших алгоритмів, вибір яких залежить від типу операції. Вирізання вікна, побудова буфера навколо об'єкта, створення нової топологічної структури полігонів – основні цілі оверлейних операцій для багатокутників. У цьому випадку більш ефективні структури типу дуга (arc), оскільки виконується тільки одна операція пошуку замість чотирьох-п'яти для багатокутників-блоків і при цьому є більша кількість атрибутивної інформації.

Крім того, оверлейні операції можуть застосовуватися і для накладення об'єктів різних типів. Нижче наведено приклад застосування процедури топологічного накладення «точка-в-полігон» із перебудовою таблиці атрибутів (рис. 6.3).

Булева алгебра в топологічному накладенні

Для реалізації топологічного накладення у ГІС використовується алгебра логіки. Це розділ математичної логіки, що вивчає логічні операції над висловлюваннями. Її засновником був англійський математик Джордж Буль (G. Bool). В алгебрі логіки істинності значення висловлювань прийнято

позначати числами 1 (істина – true) і 0 (брехня – false). Кожній логічній операції відповідає функція, що набуває значень 1, 0. Такі функції називаються функціями алгебри логіки або булевими функціями.

Щоб визначити, чи є певний стан істинним або хибним, у просторовому аналізі використовуються логічні оператори булевої алгебри, які позначаються AND (І), OR (АБО), NOT (НЕ) у текстовому форматі, і відповідно $\cap$, $\cup$, $\neg$ в символному форматі.

Два вхідні шари топологічного накладення можна розглядати як два набори даних – набір А і набір В. Для них визначаються такі базові логічні операції:

- логічна операція – кон'юнкція $A \cap B$ – визначає перетин двох наборів даних, ідентифікує ті сутності, які належать і набору А, і набору В (істинно А і В);

- логічна операція – диз'юнкція $A \cup B$ – визначає об'єднання двох наборів даних, ідентифікує ті сутності, які належать набору А чи набору В (істинно А або В);

- логічна операція – заперечення $A \neg B$ – визначає різницю двох наборів даних, ідентифікує ті об'єкти які належать А, але не В (достеменно не В).

Використовуючи базові логічні операції можна описати складні логічні функції.

Булева алгебра застосовується в обчисленні або моделюванні нових об'єктів у топологічній оверлейній обробці для систем, заснованих на векторних і растрових моделях. Ці операції можуть застосовуватися до всіх типів даних – булевих, відносних, інтервальних, порядкових або номінальних.

РОЗДІЛ 3 ВИРІШЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ЗАДАЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Тема 7 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографо-геодезичних даних у програмному забезпеченні «Digitals»

7.1 Можливості використання програми «Digitals» для обробки результатів топографо-геодезичних вимірювань.

7.2 Основи використання модуля «Geodesy». Інтерфейс програми «Digitals».

7.1 Можливості використання програми «Digitals» для обробки результатів топографо-геодезичних вимірювань

Digitals (Україна) – це вся геодезія та землеустрій в одній ліцензійній програмі. Digitals забезпечує автоматизацію геодезичних робіт від обробки польових вимірювань до створення обмінних файлів, кадастрових планів і технічної документації.

Не потребує додаткових програм, таких як Autocad або MapInfo.

Створює графічні і текстові документи на основі шаблонів, що дозволяє максимально автоматизувати процес і легко адаптувати його під будь-які вимоги.

Сумісність і універсальність. Програму вже багато років використовують тисячі організацій по всій Україні та за її межами. Підприємства Укргеодезкартографії створюють карти в форматі Digitals DMF. Це дозволяє легко обмінюватися цифровими картами без втрати їхнього змісту та оформлення.

Програма також відкриває і записує карти в популярних форматах AutoCAD DXF/DWG, ArcGIS Shape, MapInfo MID / MIF, Мікростанція DGN, Панорама TXF тощо.

Digitals безпосередньо відкриває растри, які мають геодезичну прив'язку в форматах GeoTIF, ArcInfo World File і MapInfo TAB.

Це ніверсальна платформа з величезним набором функцій. У Digitals ви зможете обробляти теодолітну і тахеометричну зйомку, створювати топографічні і спеціальні карти і плани, накопичувати кадастрову базу даних, будувати моделі рельєфу і моделювати горизонталі, розраховувати площі і обсяги, переглядати карти в тривимірному вигляді, використовувати супутникові знімки, ортофотоплани і скановані карти, створювати текстову і графічну документацію.

Потужне картографічне ядро. Графічне ядро програми використовується в цифрових фотограмметричних станціях Дельта, відомих у всьому світі. Дозволяє створювати векторні топографічні плани і карти в умовних знаках. Поєднує векторні карти і растрові зображення, такі як результати аерокосмічної зйомки, ортофотоплани, скановані карти і схеми. Дозволяє накопичувати сотні тисяч об'єктів в одній карті. Не висуває особливих вимог до системи і нормально працює навіть на застарілих комп'ютерах.

Digitals забезпечує автоматизацію геодезичних робіт від обробки польових вимірів до створення змінних файлів, кадастрових планів і технічної документації. Створює графічні й текстові документи на основі шаблонів, що набудовуються, дозволяючи максимально автоматизувати процес і легко адаптувати його під будь-які вимоги.

У Digitals ви зможете порівнювати дані геодезичної опори для теодолітних й тахеометричних знімків, створювати топографічні й спеціальні карти і плани, створювати кадастрову базу даних, будувати моделі рельєфу і моделювати горизонталі, розраховувати площі й об'єми, переглядати карти в

тривимірному вигляді, використовувати супутникові знімки, ортофотоплани і карти, створювати текстову і графічну документацію.

7.2 Основи використання модуля «Geodesy». Інтерфейс програми «Digitals»

Програмний комплекс «*Digitals*» взаємодіє із модулем «*Geodesy*», що підключається.

Модуль «*Geodesy*» призначений для обробки польових вимірювань полігонометричних мереж (теодолітного знімання) і тахеометричного знімання. Введені дані зберігаються у внутрішньому форматі *.GDS. Результати обчислень можна вивести у вигляді відомості зрівнювання мереж полігонометрії й теодолітних ходів, відомості обчислення координат та відміток висот тахеометричного знімання або експортувати у формат *.DMF програми «*Digitals*».

Імпорт файлів вимірювань. Програма дозволяє імпортувати дані із файлу, який отриманий із реєстратора низки електронних тахеометрів, переглядати вимірювання у впорядкованому вигляді з можливістю редагування отриманих даних й зберігання змін у форматі *.GDM.

Модуль «*Geodesy*» дозволяє виконувати імпорт файлів вимірювань у форматах:

- GDS-файли – внутрішній формат програми Geodesy.exe для зберігання даних про ходи;
- GDM-файли – текстовий файл, котрий містить інформацію про вимірювання, яка отримана під час імпорту з файлу електронного тахеометра та відкоригована засобами діалогу «Вимірювання»;
- Leica-файли формату *.GRE, отримані з реєстраторів електронних тахеометрів Leica;
- Topcon GTS-7 – файли формату GTS-7, отримані з реєстраторів низки електронних тахеометрів Topcon (дані у форматі GTS-6 перед імпортом

необхідно конвертувати утилітою Prin Com 32, що постачається разом із тахеометром);

- SOKKIA SDR – файли формату SDR2 та SDR3, отримані з електронних тахеометрів Sokkia;
- Elta DAT – файли формату Zeiss, отримані з реєстраторів електронних тахеометрів Elta;
- ЗТА5 (TXT) – файли вимірювань, отримані з реєстратора електронних тахеометрів ЗТА5 (УОМЗ).

Тема 8 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографогеодезичних даних у програмному продукті «AUTOCAD»

План

8.1 Складання топографічного плану в програмному продукті «AutoCAD».

8.2 Створення плану у масштабі 1 : 500.

8.3 Побудова графічного подання профілів.

8.4 Конвертування файлів *.dwg, отриманих у програмному продукті «AutoCAD» у *.shp «ArcGIS Pro».

8.1 Складання топографічного плану в програмному продукті «AutoCAD»

Сучасні геоінформаційні системи тісно взаємодіють із системами автоматизованого проєктування, що дозволяє ефективно обробляти, аналізувати та візуалізувати просторові дані. Одним із ключових інструментів для роботи з топографо-геодезичною інформацією є програмне забезпечення «AutoCAD», яке широко використовується для створення цифрових

топографічних планів та підготовки даних до подальшої інтеграції у ГІС-середовище.

Процес складання топографічного плану в AutoCAD починається з підготовки вихідних даних, які можуть бути отримані в результаті тахеометричної зйомки, GNSS-вимірювань, лазерного сканування або імпорту координат із текстових чи табличних файлів. Отримані координати точок переносяться в середовище «AutoCAD» за допомогою скриптів, спеціалізованих надбудов або ручного введення. На основі цих даних формуються основні геометричні елементи: точки, лінії та полігони, що відображають об'єкти місцевості – дороги, будівлі, інженерні мережі, елементи рельєфу. Важливим аспектом є структуризація даних за допомогою шарів, що дозволяє впорядкувати інформацію та забезпечити її подальше коректне використання. Для відображення об'єктів застосовуються умовні позначення у вигляді блоків, типів ліній і штрихування, що відповідають топографічним стандартам.

8.2 Створення плану у масштабі 1 : 500

Створення топографічного плану у масштабі 1 : 500 передбачає високу деталізацію просторових об'єктів, оскільки один сантиметр на кресленні відповідає п'яти метрам на місцевості. При цьому побудова всіх елементів у AutoCAD виконується у реальних координатах у масштабі 1 : 1, а безпосередньо масштабування здійснюється на етапі оформлення креслення через вікна перегляду (viewport) у просторі листа (Layout). Для цього встановлюється відповідний масштаб відображення, після чого додаються елементи оформлення, такі як рамка, координатна сітка, підписи, легенда та інші допоміжні елементи, необхідні для повноцінного подання топографічного плану.

8.3 Побудова графічного подання профілів

Окремим важливим етапом є побудова графічного подання профілів місцевості, які використовуються для аналізу рельєфу. Профілі можуть бути поздовжніми або поперечними і будуються на основі просторових координат точок із відомими висотними відмітками. Для цього визначається траса профілю, обчислюються відстані між точками, після чого створюється система координат, де по горизонтальній осі відкладається відстань, а по вертикальній – висота. Точки наносяться на графік відповідно до їхніх параметрів і з'єднуються лінією, що відображає рельєф. Для підвищення наочності часто застосовується різний масштаб по вертикалі та горизонталі, причому вертикальний масштаб зазвичай є більшим. Побудова профілів може виконуватися як вручну, так і з використанням спеціалізованих інструментів або додатків, що автоматизують цей процес.

8.4 Конвертування файлів *.dwg, отриманих у програмному продукті «AutoCAD» у *.shp «ArcGIS Pro»

Після завершення створення топографічного плану виникає необхідність інтеграції даних у геоінформаційні системи. Для цього використовується конвертування файлів формату DWG у формат SHP, який є одним із базових форматів просторових даних у ГІС. Перед експортом необхідно підготувати креслення, зокрема впорядкувати об'єкти за шарами, перетворити складні об'єкти (наприклад, блоки) на прості геометричні примітиви, очистити файл від зайвих елементів і, за можливості, забезпечити наявність координатної прив'язки. У середовищі ArcGIS DWG-файл імпортується з допомогою відповідних інструментів, у результаті чого формуються окремі набори просторових об'єктів – точкові, лінійні та полігональні. Надалі ці дані можуть бути експортовані у формат SHP із зазначенням системи координат і використані для подальшого аналізу.

Інтеграція AutoCAD та ГІС відкриває широкі можливості для комплексної роботи з геопросторовими даними. Вона дозволяє поєднувати точність інженерного креслення з аналітичними можливостями геоінформаційних систем, забезпечуючи ефективний обмін даними між різними програмними середовищами. Такий підхід сприяє підвищенню якості обробки просторової інформації, автоматизації робочих процесів і створенню сучасних цифрових моделей територій.

Отже, використання AutoCAD у поєднанні з геоінформаційними системами є важливим елементом сучасних технологій обробки топографо-геодезичних даних, що забезпечує повний цикл роботи – від збору та візуалізації до аналізу й інтеграції просторової інформації.

Тема 9 Технології обробки та інтеграції в ГІС топографо-геодезичних даних у програмному продукті «ArcGIS Pro»

План

9.1 Геодезичні дані в базі геоданих.

9.2 Проєкт геодезичної зйомки. Моделювання точок зйомки і координат.

9.3 Моделювання обчислень. Моделювання вимірювань. Моделювання взаємозалежності об'єктів зйомки.

9.4 Обчислення за методом найменших квадратів – огляд. Точки зйомки, вимірювання і просторова прив'язка.

9.1 Геодезичні дані в базі геоданих

Сучасні геоінформаційні системи, зокрема ArcGIS Pro, забезпечують широкі можливості для обробки, зберігання та аналізу топографо-геодезичних даних. Важливою складовою таких систем є підтримка геодезичних

вимірювань, що дозволяє не лише відображати просторові об'єкти, але й виконувати точні обчислення, моделювання та аналіз геодезичних мереж.

Основою організації геодезичної інформації в ArcGIS Pro є база геоданих, яка дозволяє зберігати як просторові, так і атрибутивні дані в єдиній структурованій системі. У такій базі геодезичні дані подані у вигляді спеціалізованих наборів, що містять точки зйомки, результати вимірювань, інформацію про прилади, а також параметри обчислень. Це забезпечує цілісність даних і можливість їх комплексного аналізу.

9.2 Проєкт геодезичної зйомки. Моделювання точок зйомки і координат.

Геодезичний набір даних

Проєкт геодезичної зйомки в ArcGIS Pro розглядається як сукупність взаємопов'язаних елементів, що відображають процес збору та обробки польових даних. У межах такого проєкту визначаються точки зйомки, які мають координати та висотні відмітки, а також зв'язки між ними у вигляді вимірювань – кутових, лінійних або комбінованих. Моделювання точок зйомки передбачає створення просторових об'єктів із заданими координатами, які можуть бути отримані з польових вимірювань або імпортовані з зовнішніх джерел. Координати точок можуть зберігатися у різних системах координат, що забезпечує гнучкість під час роботи з даними різного походження.

Геодезичний набір даних у середовищі «ArcGIS Pro» є спеціалізованою структурою, що об'єднує всі елементи геодезичної мережі. Він містить класи об'єктів для точок, таблиці вимірювань, а також правила, які визначають взаємозалежності між об'єктами. Такий підхід дозволяє моделювати реальні геодезичні процеси та забезпечує можливість виконання складних обчислень.

9.3 Моделювання обчислень. Моделювання вимірювань. Моделювання взаємозалежності об'єктів зйомки

Моделювання обчислень у геодезичних задачах передбачає визначення координат точок на основі вимірних величин. У системі реалізуються алгоритми, які враховують похибки вимірювань та забезпечують отримання найбільш імовірних значень координат. Моделювання вимірювань містить подання кутів, відстаней і перевищень у вигляді структурованих записів, що пов'язуються з відповідними точками. Це дозволяє здійснювати аналіз як окремих вимірювань, так і всієї геодезичної мережі загалом.

Важливим аспектом є моделювання взаємозалежностей об'єктів зйомки. У геодезичних мережах точки не існують ізольовано – вони пов'язані між собою через систему вимірювань. У ArcGIS Pro ці зв'язки реалізуються з допомогою спеціальних правил і відношень, що дозволяє враховувати взаємний вплив вимірювань та забезпечує коректність обчислень. Це особливо важливо під час оброблення великих мереж, де похибки можуть накопичуватися.

9.4 Обчислення за методом найменших квадратів – огляд. Точки зйомки, вимірювання і просторова прив'язка

Одним із ключових методів обробки геодезичних даних є метод найменших квадратів, який застосовується для вирівнювання геодезичних мереж. Його суть полягає у знаходженні таких значень координат, за яких сума квадратів похибок вимірювань є мінімальною. Цей метод дозволяє підвищити точність результатів та узгодити суперечливі вимірювання. У середовищі «ArcGIS Pro» реалізовано базові можливості для виконання таких обчислень або підготовки даних для подальшої обробки у спеціалізованих програмних засобах.

Точки зйомки, вимірювання та просторова прив'язка є ключовими елементами геодезичних даних. Просторова прив'язка визначає положення

об'єктів у вибраній системі координат і забезпечує їхню інтеграцію з іншими просторовими даними. Вона може здійснюватися як на етапі збору даних, так і під час їх обробки. Важливо забезпечити узгодженість систем координат і точність прив'язки, оскільки це безпосередньо впливає на якість кінцевих результатів.

Таким чином, використання ArcGIS Pro для обробки та інтеграції топографо-геодезичних даних дозволяє реалізувати повний цикл роботи з геодезичною інформацією – від збору та моделювання до аналізу та візуалізації. Система забезпечує ефективне управління даними, підтримує складні обчислення та сприяє підвищенню точності й надійності результатів геодезичних досліджень.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самойленко В. М. Природничо-географічне моделювання [Електрон. ресурс] : підручник / В. М. Самойленко, І. О. Діброва. – Електрон. текст. дані. – Київ : Ніка-Центр, 2019. – 320 с. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/358725842_Samojlenko_VM_Dibrova_IO_Prirodnico-geograficne_modeluvanna_pidrucnik_Kiiv_Nika-Centr_2019-320_s, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.
2. Міхно О. Г. Прикладні геоінформаційні системи [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / О. Г. Міхно, І. М. Патракеєв. – Електрон. текст. дані. – Київ, 2020. – 98 с. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1r8aEOAr3ku8uACuFX-M8IvCuJKIKYkPB/view>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.
3. Авраменко В. С. Проектування інформаційних систем [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / В. С. Авраменко, А. С. Авраменко. – Електрон. текст. дані. – Черкаси : Черкаський нац. ун-т ім. Б. Хмельницького, 2017. – 434 с. – Режим доступу: <http://eprints.cdu.edu.ua/1481/1/pro.pdf>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.
4. Євдокімов А. А. Інфраструктура просторових даних [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / А. А. Євдокімов, Н. О. Манакова, Т. С. Сенчук ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 159 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/63676/>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.
5. QGIS is a professional GIS application [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://qgis.org/uk/site/forusers/download.html>, free (date of the application: 09.03.2026). – Header from the screen.

6. Сучасні аспекти розвитку картографічного забезпечення [Електрон. ресурс] / А. А. Євдокімов, К. А. Мамонов, О. В. Афанасьєв, С. Г. Нестеренко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Вип. 117. – С. 124–131. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/393185050_MODERN_ASPECTS_OF_CARTOGRAPHIC_SUPPORT_DEVELOPMENTSUCASNI_ASPEKTI_ROZVITKU_KARTOGRAFICNOGO_ZABEZPECENNA, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

7. Євдокімов А. А. Дослідження земельного покриття за супутниковими даними [Електрон. ресурс] / А. А. Євдокімов, О. О. Воронков, К. О. Долінська // Технічні науки та технології. – Електрон. текст. дані. – 2025. – № 2(40). – С. 454–462. – Режим доступу: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-454-462](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-454-462), вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

8. Воронков О. О. Геоінформаційна модель інтенсивності опадів [Електрон. ресурс] / О. О. Воронков, А. А. Євдокімов, К. О. Дубцов // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2024. – Т. 3, вип. 184. – С. 139–146. – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6304>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

9. Формування геопросторового забезпечення для кадастрової системи [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Е. С. Штерндок, С. А. Халіков [та ін.] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Електрон. текст. дані. – 2024. – Вип. 116. – С. 153–163. – Режим доступу: <http://addb.ntu.edu.ua>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

10. Євдокімов А. А. Геоінформаційне моделювання лісових ресурсів [Електрон. ресурс] / А. А. Євдокімов, О. Ю. Ієвлєва, Є. Є. Луппов // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Т. 3, вип. 191. – С. 453–458. – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6574/6494>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

11. Методичні засади застосування ГІС у містобудівному моніторингу [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, А. А. Євдокімов, Ю. Б. Радзінська [та ін.] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2025. – Вип. 118. – С. 114–122. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/118.1/114.pdf, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

12. Моделювання об'єктів нерухомості засобами ГІС [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, А. А. Євдокімов, В. Гой, Р. С. Вяткін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Електрон. текст. дані. – 2025. – Вип. 117. – С. 242–250. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/117.2/242.pdf, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

13. Воронков О. О. Геоінформаційна основа для оцінювання нерухомості [Електрон. ресурс] / О. О. Воронков, А. А. Євдокімов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Електрон. текст. дані. – 2025. – № 214. – С. 92–99. – Режим доступу: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.214.2025.352039>, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

14. Зацерковний В. І. Моделювання в ГІС [Електрон. ресурс] / В. І. Зацерковний, В. К. Демидов, І. В. Цюпа, Т. М. Малік. – Електрон. текст. дані. – 2024. – 420 с. – Режим доступу: https://www.geology.knu.ua/media/library/docs/Modeliuvannia_v_GIS_2024.pdf, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

15. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами [Електрон. ресурс] / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2009. – 158 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/13531/1/GIS_Planing_text_A5.pdf, вільний (дата звернення: 09.03.2026). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

ЄВДОКІМОВ Андрій Анатолійович

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій)

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *А. А. Євдокімов, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 251Л

Підп. до друку 13.07.2026. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 5,1.

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.